



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

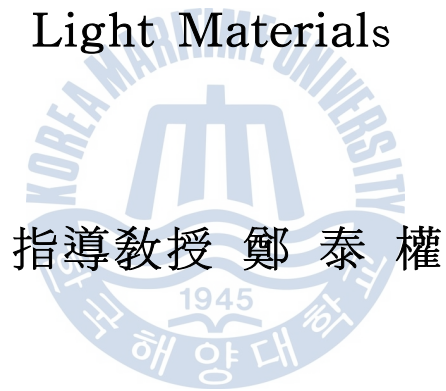
[Disclaimer](#)

해양교통학석사 학위논문

경량 재질을 이용한 부표 표체 개선에
관한 연구

A Study on Improvement of the Buoy Body Using
Light Materials

指導教授 鄭 泰 權



2015년 2월

한국해양대학교 해사산업대학원

해양교통학과

임 민 용

본 논문을 임민용의 해양교통학석사
학위논문으로 인준함.



2014년 12월 16일

한국해양대학교 해사산업대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vi
Abstract	viii

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 선행 연구	2
1.3 연구 방법 및 내용	3

제 2 장 우리나라 등부표 운영 현황 및 문제점

2.1 우리나라 등부표 제작 관련 규정 및 현황	4
2.1.1 우리나라 등부표 제작 관련 규정	4
2.1.2 우리나라 등부표 운영 현황	6
2.2 우리나라 표준형 등부표의 문제점	8
2.2.1 환경적 측면	9
2.2.2 경제적 측면	10
2.2.3 관리적 측면	10
2.2.4 수출적 측면	12

제 3 장 해외 부표 운영현황 및 주요 제조사들의 동향

3.1 해외 선진국들의 부표 운영 현황	13
3.1.1 프랑스	13
3.1.2 독일	14
3.1.3 미국	15
3.2 주요 제조사들의 동향	18
3.2.1 미국의 타이드랜드 시그널(TIDELAND SIGNAL)	18
3.2.2 프랑스의 지스맨(Gisman)	20
3.2.3 호주의 씨라이트(Sealite)	24
3.2.4 일본의 제니 라이트 부이(ZENI LITE BUOY)	29
3.2.5 한국의 뉴마린엔지니어링	32

제 4 장 경량 재질을 이용한 부표 표체의 개선 방안

4.1 부표 표체의 경량 재질 사용 배경	35
4.2 부표 표체용 경량 재질의 종류	36
4.2.1 폴리에틸렌(PE)	36
4.2.2 유리강화플라스틱(GRP)	38
4.2.3 폴리우레탄 / 엘라스토머 코팅 폼	39
4.2.4 모든 종류의 폼(all foam)	40
4.3 경량 재질을 이용한 부표의 설계	41
4.4 경량 재질을 이용한 부표의 안정성 검토	44
4.4.1 중심(center of gravity)과 배수체적(displacement)의 결정	46
4.4.2 부심(center of buoyancy)과 경심(metacenter) 높이 결정	48
4.4.3 경량 재질을 이용한 부표의 진동주기	49
4.4.4 외력에 의한 경사각 결정	49

4.5 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 경제성 검토	52
4.5.1 제작비용	55
4.5.2 설치비용	56
4.5.3 유지보수비용	57

제 5 장 결론

감사의 글	61
-------------	----

참고문헌	62
------------	----



List of Tables

Table 1 우리나라 표준형 등부표 제원 - 1	5
Table 2 우리나라 표준형 등부표 제원 - 2	6
Table 3 최근 5년간 국내 항로표지 시설현황	7
Table 4 우리나라 지방해양항만청별 항로표지 운영현황	7
Table 5 독일의 내륙수로용 부표의 종류	14
Table 6 미국 (등)부표의 명칭과 속성 구분	15
Table 7 미국 (등)부표 타입과 설명	16
Table 8 이오노머-폼 (등)부표 제원	17
Table 9 타이드랜드 시그널사의 등부표 종류와 제원	18
Table 10 지스맨사의 GBM 타입 등부표 종류와 제원	20
Table 11 지스맨사의 GBP 타입 등부표 종류와 제원	23
Table 12 지스맨사의 강제 등부표 제원	23
Table 13 씨라이트사의 항로용 부이 종류와 제원	25
Table 14 씨라이트사의 대양용 부이 종류와 제원	26
Table 15 제니 라이트 부이사의 기타 등부표 종류	31
Table 16 항로표지의 환경친화지침과 기술적인 고려사항(IALA)	36
Table 17 폴리에틸렌 부표 몸체의 벽체 최소 두께기준(IALA)	38
Table 18 경량 재질을 이용한 부표와 LL-24의 파트별 중량 비교	42
Table 19 경량 재질을 이용한 부표와 LL-26(M)의 안정성 비교	45
Table 20 경량 재질을 이용한 부표의 부재목록표	47
Table 21 경량 재질을 이용한 부표의 배수체적과 1차 모멘트	48
Table 22 경량 재질을 이용한 부표의 풍력과 풍력모멘트	50
Table 23 경량 재질을 이용한 부표의 조류력과 조류력모멘트	51
Table 24 심해파의 수심과 파장과의 관계(U.S Army coastal Engineering Research Center)	52

Table 25	강재 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 비용분석(년간)	54
Table 26	강재 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 비용분석(비용요소별)	54
Table 27	물가상승률에 따른 표준형 부표 LL-24의 제조원가	55
Table 28	직경이 2.4m인 경량 재질을 이용한 부표의 제작비용	56
Table 29	강재 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 설치비용	56
Table 30	강재 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 유지보수비용	57



List of Figures

Fig. 1	국내 운영 중인 광파표지의 종류와 수	8
Fig. 2	최초 설치와 1년 후 철거 중인 강재 등부표 상태	9
Fig. 3	태풍으로 유실된 등부표	11
Fig. 4	충돌 사고로 표체가 파손된 강재 등부표	11
Fig. 5	해외 운송을 위해 선적중인 국내 표준형 등부표	12
Fig. 6	프랑스의 다양한 플라스틱 등부표	13
Fig. 7	미국의 이오노머-폼(ionomer-foam) 등부표	16
Fig. 8	타이드랜드 시그널사의 대표적인 등부표 모델	19
Fig. 9	GBM 타입 모듈형 등부표의 구조(지스맨)	21
Fig. 10	GBP 타입 등부표의 구조(지스맨)	22
Fig. 11	지스맨사의 강재 등부표 종류	24
Fig. 12	씨라이트사 최초의 플라스틱 등부표 POSEIDON-1750	27
Fig. 13	표준 컨테이너에 적재한 등부표 ATLANTIC-2600	27
Fig. 14	씨라이트사의 TRIDENT-2600	28
Fig. 15	씨라이트사의 TRIDENT-3000	28
Fig. 16	제니 라이트 부이사의 강재 등부표	29
Fig. 17	제니 라이트 부이사의 ZLB 시리즈	30
Fig. 18	제니 라이트 부이사의 ZWB 시리즈	31
Fig. 19	우리나라 최초의 내륙수로 플라스틱 등부표	32
Fig. 20	뉴마린엔지니어링사의 플라스틱 등부표 PB-18	33
Fig. 21	PB-18 설치 · 운영 테스트 지역	34
Fig. 22	뉴마린엔지니어링사의 Foam Buoy FB-16	34
Fig. 23	모듈형 구조방식을 적용한 경량 재질 부표(MOBILIS)	37
Fig. 24	파손되어 침수중인 GRP 부표	39

Fig. 25 미국의 표준형 이오노머-폼 부이 5x9LFR(2012년 타입)	40
Fig. 26 경량 재질을 이용한 부표의 설계도	41
Fig. 27 경량 재질을 이용한 부표의 흡수심	46



A Study on Improvement of the Buoy Body Using Light Materials

Lim, Min Yong

Department of Maritime Traffic Science
Graduate School of Maritime Industry, Korea Maritime University

Abstract

Korean coastal waters have recently become congested due to heavy traffic of ship, the development of new ports and the increase of marine leisure industry. To secure the safety of navigation and efficient marine traffic AtoNs have been established in the waters. At the present time in total 4,633 AtoNs in Korean waters are installed and in operation. The lighted buoy occupies 36% of them and ranks first.

The basic material of standard buoy used is normally steel. The steel buoy has some problems in the environment and maintenance. The developed countries such as France, Germany, the USA etc. recognized the problems and limitations of steel buoy in use and maintenance for a long time ago and developed buoys using environmentally friendly and light material, which is verified sufficiently through a lot of research, experiment, and performance test.

Meanwhile in 2010 in Korea the Ministry of Ocean and Fishery carried out the project of "development of new, light and low-cost materials for marine buoy" to overcome the problems and limitations of conventional steel buoys. In the project examined were the international regulations and trends of the major manufacturers in developed countries. And also a buoy of new material was tried to develop. However the standard buoy of steel material is widely used in Korea.

This study is to design a lighted buoy of light material to improve or overcome the problems in the steel buoy. The results are the following.

Firstly, the design criteria and current status of the standard buoy in Korea were investigated in detail. The problems and limitations with steel buoy were also examined in various aspects such as environment, economy, management and export.

Secondly, the new trends of buoy operation in the developed countries such as the United States, France etc. were examined. The light-material buoys which major companies of IALA industrial member manufactured were investigated. Through the investigation the international and domestic trends were discussed.

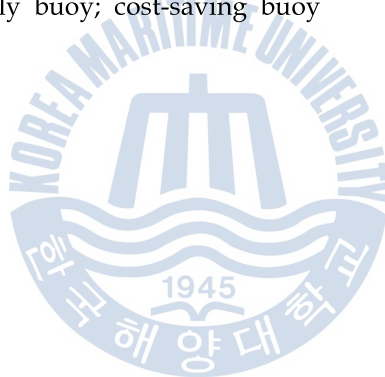
Thirdly, as a method of improving the existing steel buoys the buoy body of light material instead of steel material was designed. The stability at sea and the economic feasibility of the light-material buoy was investigated and analysed in detail compared with the existing steel material.

The conventional steel-buoys have reached the limit now due to their own problems and limitations. As a basic material in Korea the steel material is used for a buoy so far and it will have to be changed.

This study suggests a light-material buoy to overcome the problems and limitations of the existing steel buoys. The light-material buoy will be safe in maintenance, environmentally friendly and cost-saving compared with steel-material buoy.

In addition, It is also expected that the paper will be used as a basis for future studies in the development of buoy body with new material.

KEY WORDS : steel-material buoy; Light-material buoy; standard buoy; environmentally friendly buoy; cost-saving buoy



제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 해역은 각종 항만 개발사업과 마리나 항만사업, 해양레저산업 등의 발달로 인해 급속도로 변화하고 있다. 신항만 개발과 항만 인프라 개발, 항만 배후단지 및 항만 재개발 사업 등 많은 항만 개발 사업이 추진되면서 각종 공사용 선박과 상선대가 급속히 증가하였고, 마리나 항만 사업과 해양레저산업의 발달로 각종 요트와 보트 수도 점진적으로 늘어나면서 해상 교통의 변화를 가속화 시키고 있다.

이러한 변화로 인해 선박의 안전 항해 및 해상 교통을 향상시키기 위한 설비 혹은 시스템인 항로표지(AtoN, Aids to Navigation) 또한 그 수요가 점진적으로 늘어나, 현재 우리나라 해역에는 4,633개의 항로표지가 설치·운영되고 있다.(해양수산부, 2014)

이러한 항로표지 중 하나인 (등)부표는 항만유도 및 장애표지로 이용되는 것으로서 항로, 위험한 암초, 얕은 수심, 항행금지점 등을 표시하며 해상에 부유하는 등화를 갖춘 구조물로써, 모든 항로표지 가운데 가장 높은 비중을 차지하고 있는데, 현재 우리나라에서 운영되고 있는 표준형 등부표의 기본 소재는 강재를 사용하도록 규정하고 있다.(해양수산부, 2013)

강재 부표는 구조적 강도가 우수하고 철재의 절단, 용접 등의 간단한 가공으로 원하는 모양을 쉽게 만들 수 있는 장점은 있으나, 소재의 특성상 해수에 의한 부식과 흘러나오는 페인트로 인한 환경오염, 무거운 중량, 이에 따른 설치비용과 유지보수 비용의 증가 등 여러 가지 극복하기 힘든

문제점과 한계점을 가지고 있다.

이 연구에서는 우리나라 표준형 부표의 기본 소재로 사용하고 있는 강재 대신 친환경적인 경량 재질의 소재를 이용한 부표를 설계함으로써, 기존 강재 부표의 문제점과 한계점을 뛰어넘어 효율적인 유지관리와 운영이 가능하고, 해양환경 오염의 방지와 경량화를 실현시킬 수 있는 표체 개선 방안을 제시하고자 한다. 또한, 경량 재질을 이용한 부표의 안정성과 경제성 검토를 통해, 기존 강재 부표와 비교함으로써 안정성과 경제성을 평가하고자 한다.

1.2 선행 연구

해외에서는 이미 오래전부터 강재 부표가 가지고 있는 문제점과 한계점을 인식하고, 이에 대한 개선 방안으로 강재가 아닌 친환경적이고 경량화가 가능한 새로운 소재의 개발에 대한 연구를 실시하였다.

프랑스 정부는 1995년 부유식 항로표지의 개선 프로그램을 통해 강재 부표를 경량 소재인 플라스틱을 이용한 부표로 대체하는 프로젝트를 추진하였고, 미국에서는 미국해안경비대(USCG)의 주관으로 실시한 Short Range Aids to Navigation Research를 통해 합성소재와 모듈식 구조의 부표에 대한 연구를 실시하였다.(국토해양부, 2010)

국내에서는 국토해양부에서(2010) 경량 저비용 부표개발 기본조사 설계용역을 통하여 해외 선진국들의 부표 재질에 대한 동향을 조사·분석하여, 우리나라 해양 환경에 적합한 경량 저비용 등부표 개발에 대한 기본 방향을 제시하였다.

이 연구 결과를 기초로 국토해양부는(2012) 계선 부표 및 기타 특수 부표류 연구 개발 기본 및 실시설계를 통해 계선 부표, 침선 부표, 경계표지 부표 등 여러 가지 목적용 부표류 개발에 대한 연구를 실시하였다.

고성광(2010)은 신소재 등부표에 관한 연구를 통하여, 기존의 강재 대신

폴리머 소재를 적용한 등부표를 개발하였고, 문호선 등(2010)은 플라스틱 부표 개발에 관한 연구를 수행하였다. 김종욱 등(2011)은 항로표지용 플라스틱 부표의 특성 분석에 관한 연구를 수행하였고, 신용주 등(2010, 2011, 2012)은 부표 및 등부표의 표체 개선에 관한 연구를 통하여 강재 소재 대신 폴리에틸렌 폼과 폴리우레아 소재를 이용한 표체 개발 내용을 제시하였다. 박혜리(2013)는 현장적응형 소형선박 계선부표 개발에 관한 연구를 통하여 우리나라 해양환경에 맞는 계선 부표의 개발과 플라스틱 소재에 대한 연구를 수행하였다.

1.3 연구 방법 및 내용

이 연구에서는 우리나라 부표의 운영 현황과 문제점을 조사하고, 이를 개선하기 위해 3차원 설계 프로그램인 솔리드웍스(SOLIDWORKS)를 활용하여 기존의 강재 대신 경량 재질을 이용한 부표를 설계하였다. 경량 재질을 이용한 부표의 안정성을 검토하기 위하여 항로표지 업무편람을 참조하여 안정성 검토를 실시하였고, 기존 강재 부표와의 경제성을 비교·분석하고자 IALA 가이드라인 부표 기술의 비용비교 방법을 근거로 최대한 우리나라 현실에 맞게 적용하여 경제성 검토를 실시하였다.

연구 내용으로는 제2장에서 우리나라 부표의 제작관련 기준 및 운영 현황에 대한 조사와 표준형 부표의 기본 소재인 강재 부표의 문제점을 다각적 측면으로 조사하였다.

제3장에서는 해외 선진국들의 부표 운영 동향과 국내·외 주요 제조사들의 부표 제조 방법 및 기본 소재 등의 조사를 통하여 국제적 추세와 동향을 파악하였다.

제4장에서는 기존 강재 부표의 표체를 개선하기 위해 표체 소재를 강재 대신 경량 재질을 이용한 부표를 설계하였고, 안정성과 경제성 검토를 실시함으로써, 기존 강재 부표와의 안정성과 경제성을 비교·분석하였다.

마지막으로 제5장은 이 연구에 대한 결론으로 구성하였다.

제 2 장 우리나라 등부표 운영 현황 및 문제점

이 장에서는 우리나라에 설치·운영 중인 항로표지 시설 및 부표 운영 현황과 제작 관련 규정 및 표준형 부표의 제원에 관한 기준을 조사하고, 이에 대한 문제점을 분석하고자 한다.

2.1 우리나라 등부표 제작 관련 규정 및 현황

2.1.1 우리나라 등부표 제작 관련 규정

우리나라에서 제작되는 등부표는 ‘표준형부표 제작 및 품질관리 기준에 관한 규정’에 따라 정해진 기준에 의하여 제작하고 있고, Table 1, 2와 같이 설치장소, 조류, 수심 등의 여러 가지 현장 여건에 따라 설치할 수 있는 11가지의 기본적인 모델을 만들어서 표준형 등부표로 지정하였다.(해양수산부, 2013)

표준형 등부표 몸체의 주된 재질은 기본적으로 강재를 사용하여 제작하여야 하며, 설치 해역의 자연환경, 선박 교통량, 이용 선박의 크기 및 사용용도 등을 감안하여 알루미늄 등 비철금속 또는 합성물질(GRP, 폴리에틸렌, 우레탄수지, FRP, Foam 등)의 재질을 사용할 수 있다고 규정하고 있다.

그러나 강재 이외의 재질을 사용하여 부표를 제작하는 경우 또는 표준형 부표 이외의 비표준형 부표를 제작하고자 할 때에는 안정성계산서가 첨부된 설계 도서를 해양수산부장관에게 제출하여 승인을 받아야지만 사용할 수 있다.(해양수산부, 2013)

Table 1 우리나라 표준형 등부표 제원 - 1

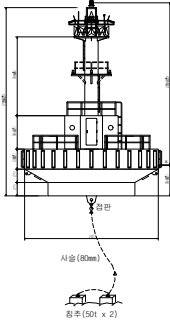
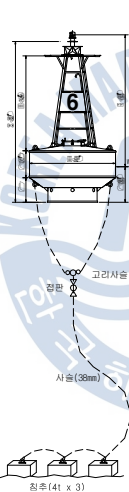
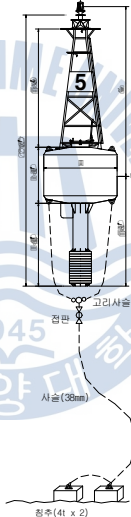


형식	LANBY-100	LS-35	LL-30	LL-28	LL-26
표준 설치 장소	전 해역 주요통항로, 강조류	전 해역, 주요통항로, 강조류 (7kt 이하)	전 해역, 주요통항로, 강조류 (7kt 이하)	전 해역, 강조류 (7kt 이하)	전 해역, (5kt 이하)
수심	40m 이상	10~40 m	10~50 m	10~40 m	10~30 m
표 준 설 치 도					

Table 2 우리나라 표준형 등부표 제원 - 2

형식	LL-26(M)	LL-24	LS-24	LSP-28	LSP-24	LT-10
표준 설치 장소	전 해역 (3kt 이하)	내 해역 (3kt 이하)	천수해역, 내 해역 (3kt 이하)	내 해역 (2kt 이하)	내 해역 (1kt 이하)	내 해역 (3kt 이하)
수심	10~30 m	10~20 m	2~20 m	12~18m	13~17 m	10 m 전후
표 준 설 치 도						

2.1.2 우리나라 등부표 운영 현황

우리나라에 설치·운영 중인 항로표지는 광파표지, 형상표지, 음파표지, 전파표지, 특수신호표지의 5가지 종류로 구성되어 있는데, 최근 5년간 국내에 운영되고 있는 항로표지 시설현황은 Table 3과 같다.(통계청 항로표지시설현황, 2013)

Table 3 최근 5년간 국내 항로표지 시설현황

종 류	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
광파표지	3,424	3,556	3,626	3,786	3,985
형상표지	274	310	306	347	412
음파표지	98	97	99	101	101
전파표지	124	129	129	132	135
총 계	3,920	4,092	4,160	4,366	4,633

최근 우리나라는 각종 해양개발사업, 해양레저산업의 발달 등으로 해상 교통의 많은 변화가 일어나고 있으며, 항로표지시설 또한 점차 늘어나고 있다.

우리나라 지방해양항만청별 항로표지 운영현황을 살펴보면 Table 4에서 보는 바와 같이 부산이 786기, 인천이 657기로 전체의 약 31%를 차지하며 가장 많이 운영되고 있는 반면, 평택과 울산은 각각 169기, 178기로 가장 적었다.

Table 4 우리나라 지방해양항만청별 항로표지 운영현황

관 내	부 산	인 천	마 산	여 수	대 산	목 포	진 도	포 향	제 주	군 산	동 해	울 산	평 택
항로표지	786	657	528	510	332	331	285	234	234	203	188	178	169

우리나라 항로표지 중 광파표지는 3,985기로 전체 항로표지의 86%로 가장 많이 운영 중에 있으며, Fig. 1에서는 이러한 광파표지의 종류와 수를 나타내었고, 그 중 등부표는 1,667기가 운영 중인 가운데 42%로 가장 높

은 비중을 차지하는 것으로 나타났다.(해양수산부 항만시설및능력현황, 2014)

현재 우리나라에 운영 중인 1,667기의 등부표는 소유자에 따라서 국가에서 설치하고 관리하는 국유 등부표(606기(36%))와, 개인이 자신의 사업 또는 업무에 상시적으로 사용하기 위해 설치한 사설 등부표(1,061기(64%))의 두 가지로 구분하여 운영하고 있다.

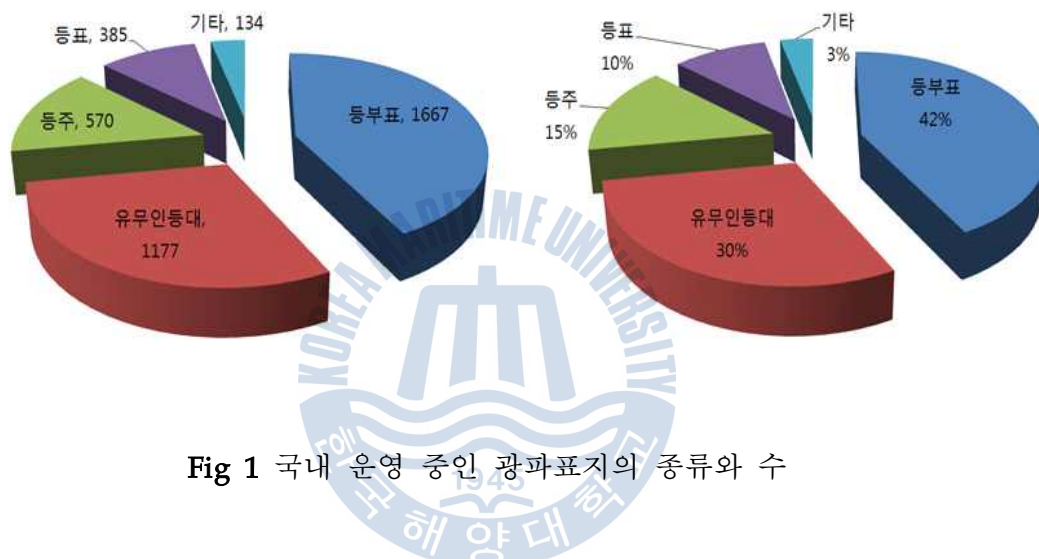


Fig 1 국내 운영 중인 광파표지의 종류와 수

2.2 우리나라 표준형 등부표의 문제점

현재 우리나라에 설치·운영 중인 1,667기의 등부표 중 해양기상관측용과 선박계류용 등부표를 제외한 거의 모든 등부표는 표준형 등부표 기준에 의해 제작된 강제 등부표이다.

해양기상관측용과 선박계류용으로 제작된 등부표는 68기로 전체 등부표 중 4%밖에 차지하고 있지 않으며, 그 또한 대부분의 표체 재질은 강재로 제작되었으므로 실제 우리나라의 등부표는 98% 이상이 강제 등부표로 운영되고 있는데, 강제 등부표는 소재의 특성상 여러 가지 측면에서 극복하기 힘든 한계점과 문제점을 드러내고 있다.(해양수산부 항만시설및능력현황, 2013)

2.2.1 환경적 측면

해상에 설치한 강재 부표는 시간이 지남에 따라 해수의 염분, 산성물질 등에 의해 부식이 발생하게 된다. 이러한 강재의 부식으로 인해 녹물이 흘러나오기도 하고, 페인트가 벗겨지면서 해수에 섞이면서 직·간접적인 해양오염 또는 해양 생태계를 파괴하는 하나의 원인이 될 수도 있다.

특히, 부표 도장 시 필수적으로 사용하는 방오 도료에는 TBT(유기주석 화합물)나 아산화동과 같이 강한 독성을 가지는 성분이 포함되어 있는데, 그 성분이 스스로 조금씩 마모되어 부표 표면에 부착되어 있던 해양 동·식물들과 같이 바닷속으로 떨어져 나가게 된다. 하지만, 뛰어난 효과로 인해 방오제로 가장 많이 사용되던 TBT는 바닷물에 분해되지 않고, 축적되면서 해양 생태계 파괴 및 환경오염의 원인이 되므로, 현재는 사용이 전면금지 되었다.

Fig 2는 같은 강재 부표인데 최초 설치할 때와 1년 뒤 공사가 완료되어 철거하면서 촬영한 모습인데 부식으로 인해 녹이 생기고, 해양생물의 부착으로 인해 부표 표채가 많이 오손되었음을 알 수 있다.



(a)최초 설치 장면

(b)1년 후 철거 장면

Fig. 2 최초 설치와 1년 후 철거 중인 강재 등부표 상태

2.2.2 경제적 측면

강재 부표는 소재의 특성상 무겁고, 장기간 운영을 위해서는 주기적인 도색 작업이 반드시 필요하다. 이러한 소재의 특성으로 인해 강재 등부표는 운송과 설치, 유지보수 및 인양점검, 사고복구 등, 여러 가지 측면에서 높은 비용을 야기한다. IALA 에서도 강재 등부표가 가지고 있는 환경적인 문제뿐만 아니라 높은 유지보수 비용에 대해 기술하고 있다.(IALA, 2013)

강재 부표의 제조원가, 설치비용, 유지보수비용 등에 대해서는 4.5장 경제성 검토에서 다시 한 번 자세히 분석하도록 한다.

2.2.3 관리적 측면

일상적인 관리적 측면에서는 강재 부표나 다른 소재의 부표를 비교했을 때 큰 차이점은 없다. 그러나 자연재해나 선박 충돌사고가 발생했을 시 부표의 유실 및 표체 파손으로 인한 원상복구 작업은 비용적인 측면뿐만 아니라 다른 문제점을 야기하게 된다.

예를 들면, Fig 3과 같이 부표가 유실이 되었을 때, 빠른 조치를 취하지 않는다면 기능을 상실한 일반 강재 부유물로써 항해하는 선박에게 큰 위협이 될 수도 있고, 또한 이를 인지하지 못한 선박과의 2차적인 충돌 사고는 부표뿐만 아니라 선체에도 정상적인 기능을 유지하기 힘들만큼 심각한 파손이 생길 수도 있다.

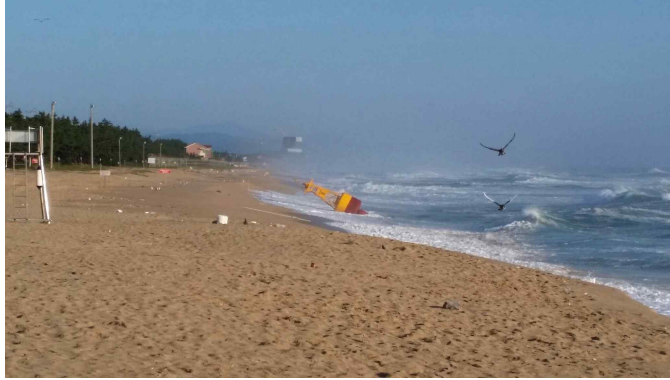


Fig. 3 태풍으로 유실된 등부표

Fig 4와 같이 단순한 소등 복구가 아닌 강재 부표의 표체 파손 복구 작업을 위해서는 필수적으로 30톤급 이상의 해상크레인과 바지선이 동원되어야 하고, 용접공, 산소절단공 등의 전문 인력이 투입되어야 한다. 또한, 무거운 중량과 부피를 가지는 강재 등부표의 해상작업에서는 항상 인적 재난 사고의 위험이 존재하고, 대형 사고로 이어지므로, 항상 안전에 대하여 각별한 신경을 써야 한다.



Fig. 4 충돌 사고로 표체가 파손된 강재 등부표

2.2.4 수출적 측면

강제로 제작된 우리나라의 표준형 부표는 소재의 특성상 큰 부피와 무거운 중량을 가지게 되고, 모든 접합 부분을 용접 방식으로 취부 하여, 전체 일체형으로 공장에서 제작되어 출고된다.

이러한 강제 부표의 특징은 구조적 강도는 우수할지라도 수출을 위한 운송이나 포장에는 큰 제약이 따를 수밖에 없다. 실제로 국내의 한 항로 표지업체는 2013년 아프리카 현장에 국내의 표준형 등부표 LS-24 모델을 납품하게 되었다. LT-10을 제외한 국내 표준형 등부표 중 가장 작은 LS-24이지만 일반 수출용 컨테이너에는 실을 수가 없었고, 결국은 지체상금을 납부하면서까지 일정을 조정하여 현지 작업을 위해 투입되는 토운선(dredging barge)에 Fig 5와 같이 선적하여 납품하였다.

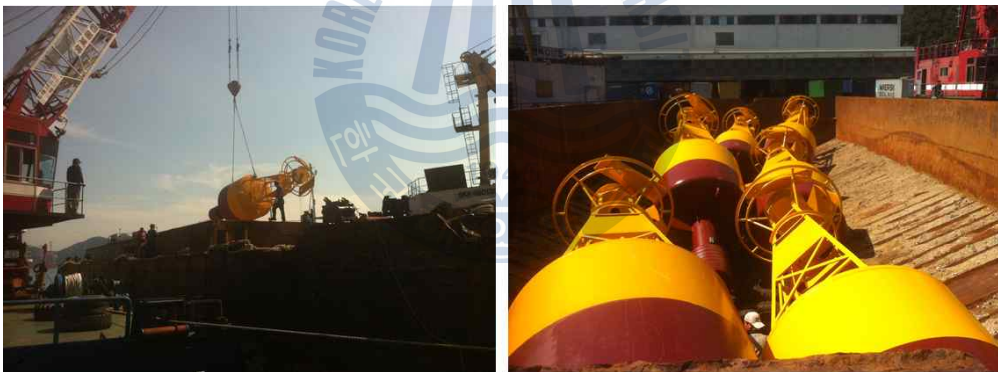


Fig. 5 해외 운송을 위해 선적중인 국내 표준형 등부표

국내 부표의 해외 시장 진출과 수출 경쟁력을 향상시키기 위해서는 이러한 구조적인 문제점은 개선되어야 할 것이다. IALA 가이드라인에서 제시하고 있는 것처럼 큰 부피도 운송이 가능하도록 모듈형 구조방식의 적용이 필요하며, 부표의 기능을 유지하면서도 경량화를 위한 경량 재질의 부표 개발이 필요한 실정이다.

제 3 장 해외 부표 운영 현황 및 주요 제조사들의 동향

제2장에서 살펴본 바와 같이 국내에 운영되고 있는 강제 부표는 여러 가지 문제점과 한계점을 가지고 있다. 이 장에서는 해외 주요 국가들의 부표 운영 현황 및 IALA에 가입되어 있는 주요 산업회원사들의 동향을 조사한다.

3.1 해외 선진국들의 부표 운영 현황

3.1.1 프랑스

프랑스에서는 약 20여 년 전에 기존에 사용해오던 강제 부표의 문제점 및 한계점을 파악하고, 경량 소재인 플라스틱으로 대체하는 프로젝트를 추진하였다. 1995년 부유식 항로표지의 개선 프로그램을 시행하여 400여 기의 플라스틱 부표류를 도입하였고, 현재는 Fig 6과 같이 여러 종류의 플라스틱 부표를 표준화하여 운영하고 있다.(국토해양부, 2010)

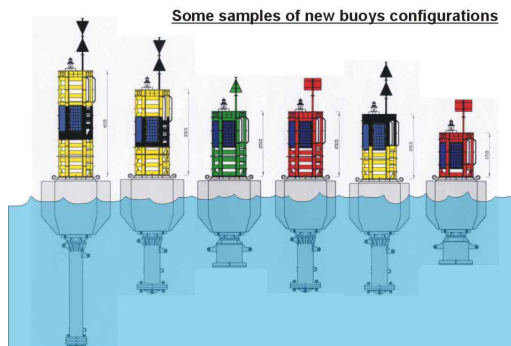


Fig. 6 프랑스의 다양한 플라스틱 등부표





프랑스 등부표의 특징은 등부표의 시인성에 영향을 미치는 상부 철탑 부분은 타워 형태로 제작하여 시인성을 더욱 향상시켰고, 시인성에 전혀 영향을 미치지 못하는 몸통 아래 부분은 모두 회색으로 제작함으로써, 모든 종류의 부표 수리 시 재사용이 가능하도록 하였다.

또한, 등부표 유실 방지를 위해 1년 1회 인양하여 체인의 마모도를 점검·관리하고 있으며, 도장은 5년 주기로 실시하고 있다.

3.1.2 독일

유럽 대륙의 중앙에 위치한 독일은 12개강을 중심으로 7,500km에 달하는 내륙수로가 발달되어 있는 만큼 부표 설치 장비인 해상크레인선을 소형화할 수밖에 없으므로, 사용하는 부표류 또한 소형화 및 경량화 된 부표를 집중적으로 사용하고 있는데, Table 5는 독일 내륙수로용으로 사용하고 있는 대표적인 네 가지 형태의 부표류이다.(국토해양부, 2010)

Table 5 독일의 내륙수로용 부표의 종류

구분	spar buoy (green)	oval buoy B5 (red)	oval buoy B7 (green)	standard buoy (red)
형태				
전체중량	159.1kg	136.7kg	170.7kg	85.5kg
중추중량	93.7kg	95.1kg	114.3kg	20.2kg
높이	3,255mm	2,140mm	2,310mm	2,047mm
직경/길이	Ø400	Ø500 / 1,180mm	Ø700 / 1,570mm	Ø1050

독일의 부표류 재질도 플라스틱을 사용하고 있는데, 시인성이 우수하고 제작이 용이한 ‘Standard buoy’는 가장 일반적인 부표로서 조류가 약하고 수심이 일정하게 확보되는 지역에 설치하며, ‘Spar buoy’의 경우 수심이 일정한 지역에 사용하기 적합하다. 크기에 따라 두 가지로 구분되는 ‘Oval bouy’의 경우는 독일에서 플라스틱 부표에 대한 다양한 실험을 통해 가장 최근에 적용한 타원형 부표로서 조류가 강한 해역에서 뛰어난 활용성을 가지고 있다.

3.1.3 미국

미국의 항로표지 방식은 유럽과는 다르게 우리나라와 같은 B방식을 따르고 있으며, 방위표지는 사용하지 않고 측방표지만을 사용하고 있다.

(등)부표가 가지고 있는 속성에 따라 Table 6과 같이 등부표는 10종류, 부표는 9가지의 종류 중 복수의 명칭을 부여하여 사용하고 있으며, Table 7과 같이 등부표는 표체의 직경과 길이, 속성에 따라 식별하고, 부표는 크기의 내림차순으로 2~6등급으로 분류하고, 속성에 따라 식별한다.(USCG Specification No.450, 2009)

Table 6 미국 (등)부표의 명칭과 속성 구분

구분	명칭	속 성	구분	명칭	속 성
등 부 표	C	Can-Shaped	부 표	C	Can-Shaped
	N	Non-Shaped		N	Non-Shaped
	R	Radar Reflective		R	Radar Reflective
	F	Foam		F	Foam
	I	Ice		I	Ice
	L	Lighted		P	Plastic
	W	Whistle		T	Tall
	G	Gong		FW	Fast Water
	H	Horn		S	Special
	B	Bell			

Table 7 미국 (등)부표 타입과 설명

구 분	타 입	설 명
등부표	5x9 LNFR	5x9 Lighted Nun Foam Radar Reflective
부 표	4FWCFR	4th Class Fast Water Can Foam Radar Reflective

미국의 부표류는 미국해안경비대(USCG)에서 설치·관리를 담당하고 있는데 기존에 사용하던 강제 부표 대신 유지보수가 용이하고, 해양오염 피해를 줄일 수 있는 합성소재의 사용과 탈착구조 형태의 부표 개발을 위한 목표로 연구를 시작하였다.(국토해양부, 2010)

연구 결과, 에틸렌의 혼성 중합체인 이오노머-폼(ionomer-foam) 재질로 부표를 제작할 경우 기존 강제 부표의 대체가능성을 밝혀내었고, 부분 탈착이 가능한 구조의 조립식 부표로 설계하였다. Fig 7은 1990년대에 제작·설치한 이오노머-폼 재질의 부표로, 현재에는 '5x9 LFR' 이라는 모델 명으로 표준형 부표 중의 하나로 지정되어 있다.(USCG Specification No.450, 2009)

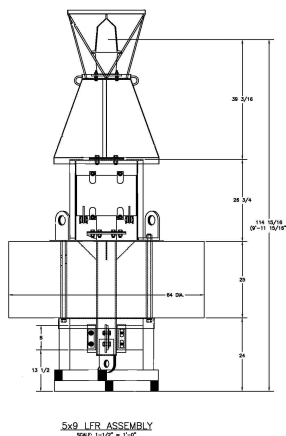


Fig. 7 미국의 이오노머-폼(ionomer-foam) 등부표

Table 8은 미국에서 현재 표준화되어 운영되고 있는 이오노머-폼을 소재로 한 부표류에 대한 제원을 정리한 것이다. 미국해안경비대(USCG)에서는 이오노머-폼 재질의 부표류에 대하여 제작 시방을 자세히 기술하고 있으며, 도장 및 각종 시험 방법에 대해서도 자세히 설명하고 있다.(USCG Specification No.450, 2009)

Table 8 이오노머-폼 (등)부표 제원

구분	타입	설 명	길이 (mm)	직경 (mm/인 치)
등 부 표	5x9 LNFR 5x9 LCFR	5x9 Lighted Nun Foam Radar Reflective 5x9 Lighted Can Foam Radar Reflective	2,806	1,626/64
	6x16 LNFR 6x16 LCFR	6x16 Lighted Nun Foam Radar Reflective 6x16 Lighted Can Foam Radar Reflective	4,600	1,727/68
	8x22 LNFR 8x22 LCFR	8x22 Lighted Nun Foam Radar Reflective 8x22 Lighted Can Foam Radar Reflective	6,445	2,388/94
부 표	2NFR 2CFR	2nd Class Nun Foam Radar Reflective 2nd Class Can Foam Radar Reflective	3,658	1,626/64
	3NFR 3CFR	3rd Class Nun Foam Radar Reflective 3rd Class Can Foam Radar Reflective	2,432	1,270/50
	4NFR 4CFR	4th Class Nun Foam Radar Reflective 4th Class Can Foam Radar Reflective	2,172	1,016/40
	4FWNFR 4FWCFR	4th Class Fast Water Nun Foam Radar Reflective 4th Class Fast Water Can Foam Radar Reflective	1,486	1,016/40
	5NFR 5CFR	5th Class Nun Foam Radar Reflective 5th Class Can Foam Radar Reflective	1,868	762/30
	5FWNFR 5FWCFR	5th Class Fast Water Nun Foam Radar Reflective 5th Class Fast Water Can Foam Radar Reflective	1,283	914/36
	6NFR 6CFR	6th Class Nun Foam Radar Reflective 6th Class Can Foam Radar Reflective	1,499	508/20
	6NTFR 6CTFR	6th Class Nun Tall Foam Radar Reflective 6th Class Can Tall Foam Radar Reflective	1,813	635/25

3.2 주요 제조사들의 동향

IALA(국제항로표지협회)에 등록되어 있는 항로표지 산업회원은 2014년 현재 111개로써, 이 중 절반이 유럽에 있는 회사이며, 우리나라에는 5개의 항로표지 업체가 산업회원으로 등록되어 있다.

3.2.1 미국의 타이드랜드 시그널(TIDELAND SIGNAL)

1954년에 설립된 ‘타이드랜드 시그널’사는 미국 휴스턴에 본사를 두고, 루이지애나, 캐나다, 영국, 싱가포르, 중국, 아랍에미리트에 지사를 운영하면서 전 세계에 항로표지를 공급하고 있는데, 등부표는 Table 9와 같이 5가지 모델로 제작하고 있다.

Table 9 타이드랜드 시그널사의 등부표 종류와 제원

모델명	중량 (kg)	직경 (mm)	길이 (mm)	등고 (mm)	몸체재질	설치조건 (knots)
SB-2.2	1,960	2,200	5,300	3,842	폴리에틸렌	7 이하
SB-3.0	3,227	3,000	6,800	5,000	폴리에틸렌	7 이상
SB-138P	454	1,750	2,900	2,290	폴리에틸렌	6 이하
SB-285P	2,400	2,500	5,500	4,100	폴리에틸렌	6 이하
TFL-1250	360	1,250	2,510	1,500	폴리에틸렌	7 이하

‘타이드랜드 시그널’사에서 제작하는 등부표의 가장 큰 특징은 몸체를 플라스틱 종류의 하나인 폴리에틸렌 소재를 사용하여 경량화 하였으며, 내부는 폴리스틸렌 폼을 충진 하여 외부충격과 침수를 방지하도록 제작하

고 있다. 또한, 프레임이나 사다리 등 STEEL로 제작되는 부분은 아연도금 또는 STS316 소재를 사용함으로써, 해수에 의한 부식 피해를 최대한 줄일 수 있게 제작하고 있다.

Fig 8은 '타이드랜드 시그널'사의 대표적인 등부표인데, SB-3.0은 가장 최근에 개발된 등부표로 조류가 강하고, 해상 조건이 좋지 않은 지역에 적합하도록 설계되었다. SB-285P와 TFL-1250은 전 해역에 걸쳐 사용이 가능한데, 특히 SB-285P는 최신 소재와 제조 공정, 기술을 사용하여 제작한 등부표로 전 세계 50여 개국에 납품하였다.

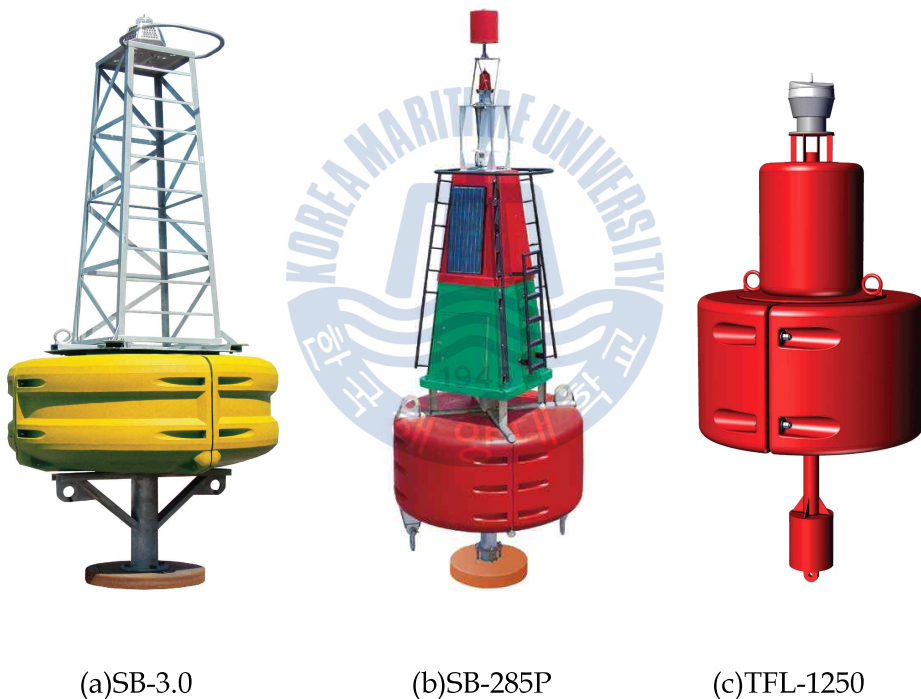


Fig. 8 타이드랜드 시그널사의 대표적인 등부표 모델

SB-285P는 몸통 4단, 상부 2단, 중추까지 모두 모듈 형태로 조립이 가능하도록 설계하여, 부품별 포장 및 운송이 가능함에 따라 수출경비도 줄일 수 있고, 부품별 교환이 가능하므로, 장기적인 유지보수 비용도 절감할 수

있어서 수출 경쟁력이 높은 제품이다.

3.2.2 프랑스의 지스맨(Gisman)

1860년에 설립된 프랑스의 ‘지스맨’사는 150년이 넘는 오래된 역사를 가지고 있는 업체로써, 1966년부터 현재까지 IALA 산업회원으로 활동하고 있다. ‘지스맨’사에서는 여러 가지 다양한 제품의 부표를 생산하고 있는데 대부분이 플라스틱 소재이나, 강재 소재의 등부표도 생산하고 있다.

1) GBM 타입

‘지스맨’사에서 제작하는 모듈형 플라스틱 등부표로써, 모든 해역에 설치 가능하도록 소형에서 대형까지 다양한 규격의 등부표를 생산하고 있다. Table 10과 같이 GBM 타입은 크게 몸체 직경에 따라 모델명을 붙여서 사용하며, 몸체의 용적, 미통의 구조, 상부 철탑의 종류에 따라 세부 규격으로 분류한다.

Table 10 지스맨사의 GBM 타입 등부표 종류와 제원

모델명	직경 (m)	중량 (ton)	길이 (m)	등고 (m)	용적 (m ³)	설치지역
GBM-3000-7.5	3.0	1.6~2.3	6.4~10.2	4.2~5.7	7.5	노출지역
GBM-3000-10	3.0	1.7~2.4	6.8~11.6	4.5~6	10	
GBM-3000-12	3.0	1.8~2.5	8.8~11.9	6.2	12	
GBM-2500	2.5	1~1.6	6.1~8.6	3.9~5.4	5.25	반 노출지역
GBM-2000	2.0	0.78~1.2	4.6~7.9	2.5~4.2	3.1	반 노출지역과 보호구역
GBM-1400 (steel spar)	1.4	582	4.2	2.2	1.5	보호구역
GBM-1400 (PE spar)	1.4	575	5.2	2.5	1.5	
GBM-1400-0.7	1.4	395	4.4	2.6	0.7	근접지역과 내륙수로

GBM 타입의 등부표 몸체는 폴리에틸렌 소재로 모두 동일하며, 내부에는 폴리스틸렌-폼으로 채운다. 또한, 시인성의 향상을 위해 상부 구조물을 대부분 타워형으로 제작하며, 소재는 알루미늄 또는 몸체와 동일한 소재인 폴리에틸렌으로 제작한다.

Fig 9는 GBM 타입 등부표의 가장 큰 특징인 모듈형 구조를 나타낸 것이다.



Fig. 9 GBM 타입 모듈형 등부표의 구조(지스맨)

2) GBP 타입

GBP 타입도 플라스틱 등부표로 기본적인 소재나 내부 충전 방법 등은 GBM 타입과 같으나, Fig 10과 같이 일체형으로 구성된 몸통과 상부의 구조물이 동일한 소재인 폴리에틸렌으로 이루어져 있다는 차이가 있다.

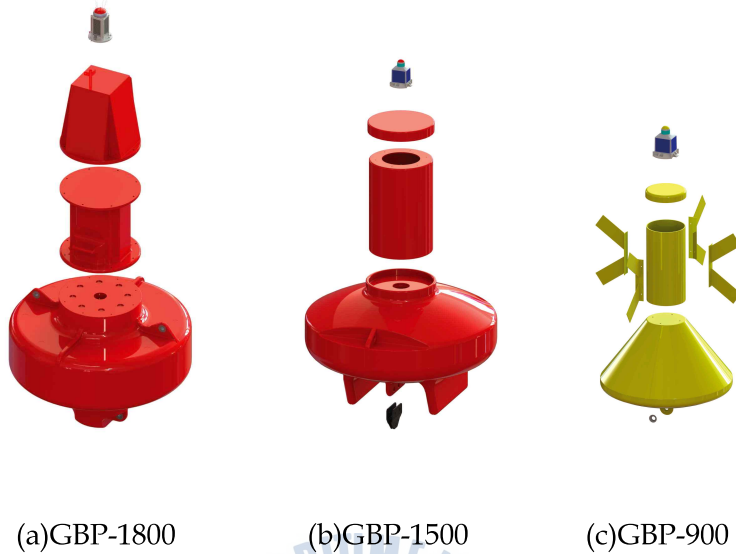


Fig. 10 GBP 타입 등부표의 구조(지스맨)

Table 11은 GBP 타입 등부표의 제원을 간단히 정리한 것이다. GBP-1800은 보호구역 표시용으로 설치되며, GBP-900과 GBP-1500은 주로 내륙수로나 육지가 근접한 지역에 설치하는데, 특히 GBP-1500은 수심이 얕은 지역과 조류가 강한 곳에 적합하도록 설계하였다.

Table 11 지스맨사의 GBP 타입 등부표 종류와 제원

구 분	GBP-1800	GBP-1500 (single spar)	GBP-1500 (double spar)	GBP-900
형 체				
직경(m)	1.8	1.5	1.5	0.9
중량(kg)	430	167	180	19
길이(m)	4.1	1.9	2.7	1.5
등고(m)	2.5	1.4	2.1	1.2
용적(m ³)	1.7	0.8	0.8	0.2

3) 강재 등부표

‘지스맨’사의 강재 등부표는 Table 12와 같이 세 가지 타입이 있는데, 항내뿐만 아니라 완전히 개방된 해역에서도 설치가 가능하다.

Table 12 지스맨사의 강재 등부표 제원

모델명	직경(m)	중량(ton)	길이(m)	등고(m)	흘수(m)
SB-2500	2.5	3	6.8	4	1.9
SB-2900	2.9	4	6.6	4.7	1.8
SB-3000	3.0	7.6	13.8	6.4	6.5

세 종류의 강재 등부표는 Fig 11과 같이 몸체 직경의 차이뿐만 아니라 미통 구조도 조금씩 차이가 있다. SB-2500과 SB-3000은 튜브 타입의 미통 구조로 하나는 짧고, 하나는 긴 형태로 제작되어 지며, SB-2900은 미통이 넓은 구조로 스커트 타입이라고 한다.

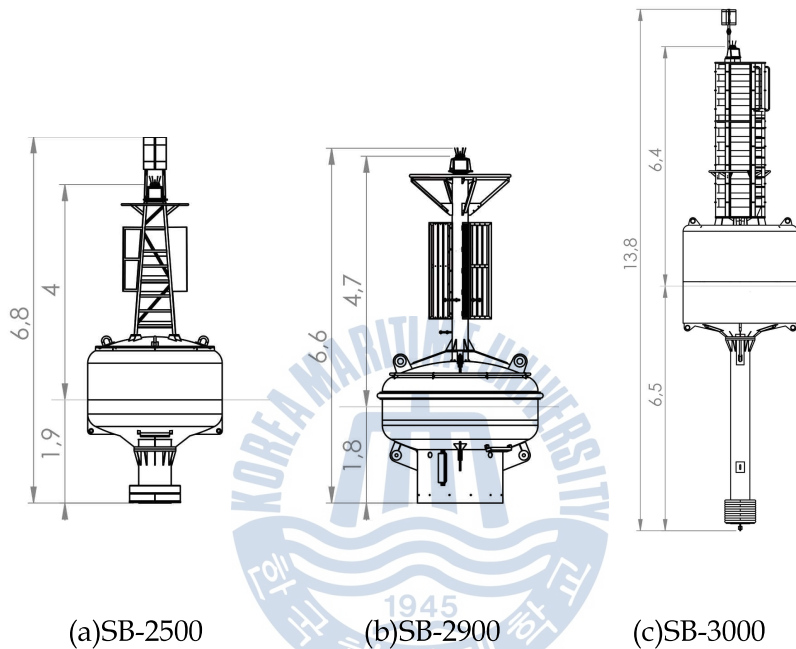


Fig. 11 지스맨사의 강재 등부표 종류

3.2.3 호주의 씨라이트(Sealite)

1982년부터 항로표지를 제조하기 시작한 호주의 ‘씨라이트’사는 미국과 영국에도 시설과 인력을 투자하여 현지에서 직접 제조할 수 있는 공장을 확보함으로써, 지속적으로 배송 시간과 서비스 수준 향상을 위해 노력하고 있다.


2003년 12월에 처음으로 플라스틱 등부표 ‘POSEIDON-1750’을 출시한 이후, 여러 가지 타입의 플라스틱 등부표를 개발하였고, 모든 등부표 표체

내부에는 폴리우레탄-폼을 발포하여 내구성을 향상시키고 있다.

1) 항로용 부이(Navigation Buoys)

주로 내륙수로나 항내에 설치하는 등부표로써, Table 13과 같이 직경 Ø1,500mm 이하의 세 가지 종류가 있다.

Table 13 씨라이트사의 항로용 부이 종류와 제원

구 분	SL-B750	SL-B1250	SL-B1500
형 체			
직경(mm)	750	1,250	1,500
중량(kg)	64	70	220
길이(mm)	2,005	1,180	3,500
등고(mm)	1,195	1,180	1,680
두께(mm)	6	9	12

‘씨라이트’사의 항로용 부이의 공통적인 특징은 상부를 원추 또는 원통형으로 제작함으로써, 두표 없이도 측방표지의 기능을 할 수 있도록 하였으며, 인양고리나 계류고리 등 철물로 제작되는 부분은 STS316 소재를 사용함으로써 내구성을 향상시키고, 해수에 의한 부식을 최소한으로 하였다.

2) 대양용 부이(Ocean Buoys)

직경 Ø1,750mm 이상의 중·대형 급의 등부표로써, 연안이나 항만, 외해 등 거의 전 지역에 사용이 가능하다.

Table 14는 대양용 부이의 종류와 제원을 정리한 것이다. ‘씨라이트’사의 대양용 부이는 몸체 두께를 최소 16mm 이상의 폴리에틸렌 회전성형법으로 제작을 하고 있는데, 일반적인 타 사의 플라스틱 등부표 몸체 두께가 12mm 전후인 것을 감안한다면 굉장히 두껍다는 것을 알 수 있다. 참고로 우리나라 강제 등부표의 몸체 두께는 9mm이다.

또한, ‘씨라이트’사에서는 대양용 부이의 제품수명을 20년, 보증기한을 5년이라고 명시하였으며, 도장이 전혀 필요 없는 저비용, 친환경 제품이라고 소개하고 있다.

Table 14 씨라이트사의 대양용 부이 종류와 제원

모델명	직경(mm)	중량(kg)	길이(mm)	등고(mm)	두께(mm)
POSEIDON-1750	1,750	436	3,960	2,500	16
NAUTILUS-2200	2,200	830	4,120	3,200	18
ATLANTIC-2600	2,600	970	4,120	2,950	18
TRIDENT-2600	2,600	2,340	6,240	4,025	18
TRIDENT-3000	3,000	2,580	7,900	5,100	18

Fig 12는 POSEIDON-1750 인데 ‘씨라이트’사에서 2003년에 최초로 출시한 플라스틱 등부표로, 현재의 몸체 두께는 16mm로 제작하고 있으나, 최초에는 23mm두께로 제작하였다.

거친 해양환경에서도 충분히 견딜 수 있도록 설계되었고, 3단 조립식 (Top/Mid/Float)으로 구성되어 있다.



Fig. 12 씨라이트사 최초의 플라스틱 등부표 POSEIDON-1750

ATLANTIC-2600은 표준 컨테이너로 전 세계 운송이 가능한 제품으로 Fig 13과 같이 상부와 몸통을 분리하여 운송이 가능하며, 빠르고 쉽게 조립이 가능한 제품이다.



Fig. 13 표준 컨테이너에 적재한 등부표 ATLANTIC-2600

TRIDENT-2600은 가장 최근에 개발된 플라스틱 등부표로써, Fig 14와 같이 운송 중 눕히지 않고, 세울 수 있도록 미통 구조를 설계하였고, TRIDENT-3000은 '씨라이트'사의 등부표 중 가장 큰 타입으로, Fig 15와 같이 상부 철탑구조가 몸통과 같은 폴리에틸렌 타워와 스테인리스 스틸 타워 형태의 두 가지 타입으로 제작할 수 있다.



Fig. 14 씨라이트사의 TRIDENT-2600



(a) Polyethylene Tower



(b) Stainless Steel Tower

Fig. 15 씨라이트사의 TRIDENT-3000

3.2.4 일본의 제니 라이트 부이(ZENI LITE BUOY)

일본의 등부표는 우리나라와 마찬가지로 아직까지 강재 등부표의 비중이 상당히 높은 편이며, 디자인 측면에서도 우리나라의 표준형 등부표와 상당히 유사하다.

일본의 대표적인 항로표지 업체인 '제니 라이트 부이'사는 1972년에 설립된 업체로써, Fig 16과 같이 여러 가지 모델의 등부표를 생산 중에 있지만 기본적인 소재는 모두 강재를 사용하여 제작한다. 그러나 일부 모델에서는 상부 철탑 부분만 알루미늄 합금 소재를 적용하기도 한다.



(a)ZLB 시리즈



(b)ZWB 시리즈



(c)ZHB 시리즈

Fig. 16 제니 라이트 부이사의 강재 등부표

1) ZLB 시리즈

가장 일반적이며, 가장 인기 있는 타입의 강재 등부표로써, 내·외해, 측방표지, 특수표지 등 거의 모든 환경과 목적에 사용하고 있는 등부표 타입이다.

Fig 17은 ZLB 시리즈의 세 가지 타입인데, 미통 디자인에 따라 튜브 타

입과 스커트 타입으로 구분하고 있다. 튜브 타입은 주로 외해나 수심이 깊은 지역에 설치하고, 스커트 형은 수심이 제한된 지역에 사용하는데, 우리나라의 표준형 등부표 LL, LS 타입과 거의 유사한 형태이다.

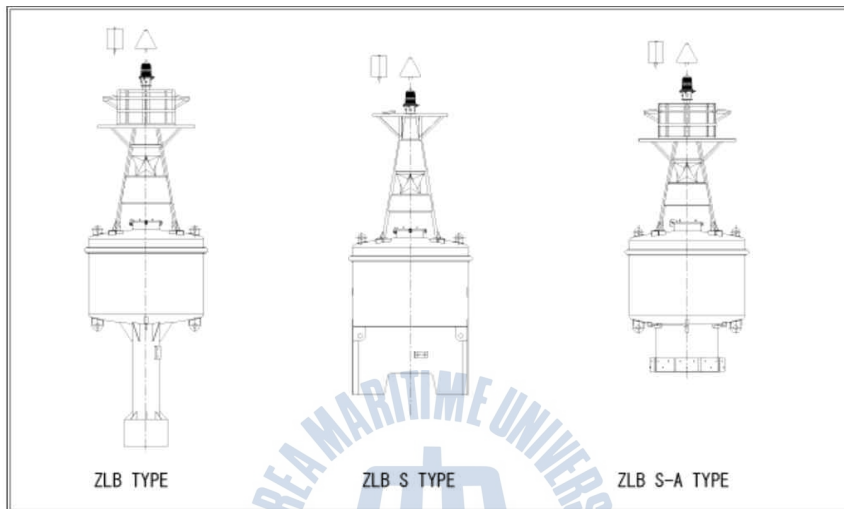


Fig. 17 제너 라이트 부이사의 ZLB 시리즈

ZLB 시리즈는 몸통 직경과 미통 타입에 따라 ZLB-240, ZLB-240S, ZLB-240S-A 의 형식으로 모델명을 붙이고 있으며, 직경 $\varnothing 1,800\text{mm}$ ~ $\varnothing 3,200\text{mm}$ 까지 제작이 가능하다.

2) ZWB 시리즈

매우 높은 파도와 침수 시에도 물을 차단할 수 있는 등부표 타입으로써, Fig 18과 같이 세 가지 타입으로 제작한다. ZWB 등부표의 특징은 기본 소재는 강재를 사용하지만 몸체 내부에 폴리우레탄-폼을 채울 수도 있고, ZWB-160, ZWB-250은 알루미늄 합금으로 제작할 수도 있다.

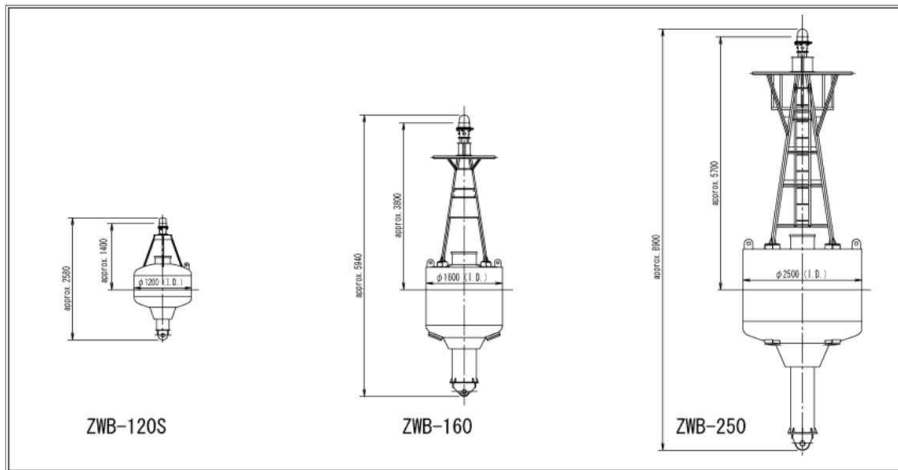


Fig. 18 제니 라이트 부이사의 ZWB 시리즈

3) 기타

Table 15는 '제니 라이트 부이'사에서 제작하고 있는 다른 타입의 등부표이다.

Table 15 제니 라이트 부이사의 기타 등부표 종류

타 입	설치지역
ZCB 시리즈	4knots 이상의 급류지역에 적합하도록 설계되어 있음. 우리나라의 LS-35와 유사한 형태.
ZLNB 시리즈	통항분리지역 및 안전수역표지, 기타 중요지역에 설치. 우리나라의 랜비와 유사한 형태.
ZHB 시리즈	공사구간 및 보호구역 표시용으로 사용되며, 임시부표로 쓰임.

3.2.5 한국의 뉴마린엔지니어링

우리나라는 아직까지 표준형 강제 부표에 대한 의존도가 상당히 높기 때문에 대부분의 항로표지 업체가 강제 등부표만을 생산하고 있다. 약 20여개의 항로표지 업체가 존재하며, 그 중 5개 업체가 IALA 산업회원으로 등록되어 있는데, 이러한 국내 시장의 동향 속에서도 국제적인 움직임에 순응해 나가고 있는 유일한 업체가 '뉴마린엔지니어링'사 이다.

'뉴마린엔지니어링'사는 2010년부터 강제로 된 표준형 부표 외에도 다른 소재를 이용한 등부표 개발에 노력을 기울였으며, 그 결과 2012년에 우리나라 최초로 내륙수로용 플라스틱 등부표를 설치하였다. Fig 19는 경인아라뱃길에 설치한 플라스틱 등부표 PB-15로, 일체형-LED 등명기와 탄성계류구를 적용하여 더욱 경량화 하였다.



Fig. 19 우리나라 최초의 내륙수로 플라스틱 등부표

Fig 20은 '뉴마린엔지니어링'사에서 개발한 또 다른 경량 재질의 플라스틱 등부표 PB-18 모델인데, 내륙수로용으로 사용 수심이 제한되어 있는 PB-15와는 달리 최대수심 50m, 전 해역에 설치가 가능하도록 설계한 제품이다.

또한, 국제적인 동향에 따라 부분적인 모듈화·경량화를 실현한 제품으로, 항로표지 업무편람에 의한 안정성 검토를 통해 이론적인 안정성 검토를 마쳤고, Fig 21과 같이 우리나라 남해·동해의 여러 현장에 설치·운영함으로써 우리나라의 해양환경에도 충분히 사용가능함을 보여준 제품이다. 이러한 과정 속에 2013년에는 외국 업체를 포함한 5개사와의 경쟁 입찰에서 이겨냄으로써, 투르크메니스탄 해군기지 현장에 11기를 납품하는 성과를 이루어내며, 해외시장에서도 가격과 품질 면에서 충분한 경쟁력이 있음을 증명하였다.



Fig. 20 뉴마린엔지니어링사의 플라스틱 등부표 PB-18

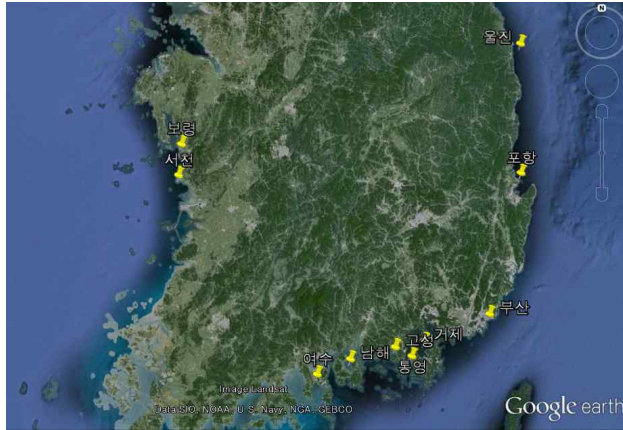


Fig. 21 PB-18 설치 · 운영 테스트 지역

‘뉴마린엔지니어링’사는 강재 등부표, 플라스틱을 소재로 한 등부표 외에도 FRP 소재의 부표류와 내부에 PE-Foam을 충전하고 외부에 폴리우레아로 두껍게 도장을 하여 제작하는 Foam Buoy도 생산하고 있다.

Fig 22는 ‘뉴마린엔지니어링’사의 Foam Buoy FB-16 모델인데, 외부 충격에 매우 강하고, 내구성이 상당히 뛰어나 반영구적으로 사용이 가능한 제품이나, 생산 가격이 다른 소재에 비해 비싸다는 단점이 있다.



Fig. 22 뉴마린엔지니어링사의 Foam Buoy FB-16

제 4 장 경량 재질을 이용한 부표 표체의 개선 방안

4.1 부표 표체의 경량 재질 사용 배경

우리나라는 아직까지 강재 부표만을 표준으로 사용하고 있는데, 강재 부표는 제2장에서 조사한 바와 같이 극복하기 어려운 문제점과 한계점을 지니고 있다.

반면, 외국에서는 현존의 강재 부표에서 재사용이 가능하고, 경량화 및 모듈식 구성이 가능한 새로운 소재를 적용하는 것이 국제적인 추세이며, 이러한 변화는 경제적인 요인 이전에 환경적인 차원에서 피할 수 없는 시대적 요건이고, 반드시 풀어야 할 과제로 판단되고 있다.

1992년 브라질 리우에서 열린 UN환경개발회의에서 Agenda 21을 채택함에 따라 모든 산업 분야에서 건전하고 지속가능한 개발개념이 도입되면서 각 분야에서는 환경측면에서 국제적인 경쟁력을 확보하기 위한 노력이 확산되었고, 이는 항로표지 분야에서도 적용되어 국제항로표지협회에서는 IALA 가이드라인을 통해 항로표지에 대한 환경관리에 대해 기술하고 있다.(IALA Guideline No. 1036)

Table 16은 IALA의 환경친화지침과 기술적인 고려사항 중 일부를 정리한 내용인데, 기존의 강재 부표를 대신할 새로운 소재로의 변경 필요성을 환경적 측면에서 명확히 설명하고 있으며, 이미 선진국들은 친환경적이면서, 경량화 및 모듈화가 가능한 새로운 소재에 대한 연구와 실험을 진행하였다.(IALA Guideline No. 1036)

Table 16 항로표지의 환경친화지침과 기술적인 고려사항(IALA)

구 분	내 용
환경친화지침	<ul style="list-style-type: none"> - 폐기처분보다는 재활용을 통한 폐기물 최소화의 방법 - 환경오염을 완화할 방법과 원료, 새로운 기술 개발 - 환경에 유해한 원료들을 확인하여 무해한 원료나 덜 유해한 물질로의 대체
기술적 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> - 해양환경에서 강재의 수명을 유지하기 위한 목적으로 코팅을 하는데 이에 사용되는 도료와 대부분의 시스템들은 해양환경에 비 친화적이고, 오염행위이다. - 도료에 포함된 납과 중금속, 휘발성 유기화합물 등은 제거하기도 위험하며, 상당한 처리 비용이 발생한다. 이는 작업자에 대한 심각한 건강문제와 대기 오염을 일으킬 수 있다. - 이 과정에서 고체 폐기물(페인트 잔여물, 블라스트에 사용된 모래가루) 및 대기오염물질(블라스트 먼지)은 환경에 부정적인 영향을 미친다.

4.2 부표 표체용 경량 재질의 종류

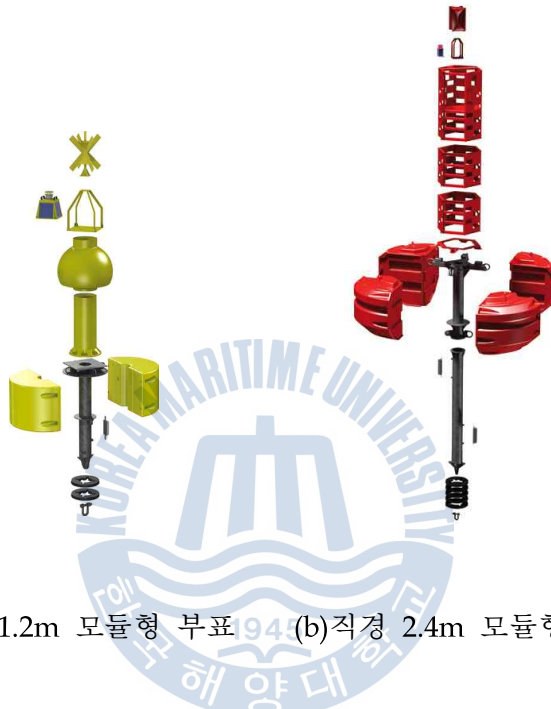
4.2.1 폴리에틸렌(PE)

경량 재질의 가장 일반적인 소재로써 선진국에서 가장 널리 사용하고 있는 폴리에틸렌은 주로 회전성형 혹은 사출성형의 기술로 생산하고 있는데, 가공성이 용이하여 다양한 형태의 부표 생산이 가능하고, 기계적 물성이 매우 우수한 장점을 가지고 있으나, 외부 충격에 의해 쉽게 깨지는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하고자 폴리에틸렌 소재를 이용하여 부표를 제작하고 있는 제조사들은 부표의 몸체를 여러 개로 구성하는 즉, 모듈형 구조로 부표를 제작하고 있다. Fig 23과 같이 직경 1.2m의 소형 부표를 제작할 때에도 최소 2개 부분으로 몸체를 구성하고 있으며, 직경 2m 이상의 부표를 제작할 시에는 거의 모든 제조사들이 4개 부분으로 나누어진 형태

로 부표를 생산하고 있다.

이러한 모듈형 구조방식은 한 부분이 파손되어 침수가 되더라도 다른 공간은 침수가 되지 않으므로, 부표의 부력을 유지할 수 있게 한다.



(a)직경 1.2m 모듈형 부표 (b)직경 2.4m 모듈형 부표

Fig. 23 모듈형 구조방식을 적용한 경량 재질 부표(MOBILIS)

폴리에틸렌 소재를 사용하여 부표를 제작할 경우에는 부표 몸체의 벽체 두께 결정이 매우 중요한데, 이는 표체 내부에 폼을 채우는가. 또는 그렇지 않은가에 의해 결정된다. IALA에서는 Table 17과 같이 폼 채움 여부에 따라 부표 벽체의 최소 두께를 제시하고 있는데, 이는 부표 몸체의 직경에 비례한다.(IALA Guideline No. 1006)

Table 17 폴리에틸렌 부표 몸체의 벽체 최소 두께기준(IALA)

몸체 직경(mm)	폼 채울시(mm)	폼 채우지 않을 시(mm)
500	6	6
1,000	7.2	10.8
1,500	8.4	15.6
2,000	9.6	20.4
2,500	10.8	25.2
3,000	12	30

부표 몸체의 직경이 2m가 넘을 때에는 벽체 두께가 20mm 이상으로 형성되어야 하는데 현재 성형 기술로는 쉽지가 않다. 해외의 제품들도 최대 23mm 까지 생산은 되고 있으나, 대부분의 제조사들은 10~15mm 정도의 두께로 형성하고 내부에 폴리에틸렌이나 폴리스틸렌 폼을 충전하는 방법으로 제작하고 있다.

만약 성형 기술의 발달로 벽체 두께를 IALA에서 제시하는 기준치만큼 형성이 가능하여 내부에 별도의 폼 충전 없이 제작할 수 있게 된다면, 제조 공정이 단순해짐에 따라 불량률의 감소와 제조 일정을 절반 가까이 줄일 수 있을 것이며, 제조 단가 또한 감소시킬 수 있는 효과가 생길 것이다.

4.2.2 유리강화플라스틱(GRP)

폴리에스테르 수지로 합쳐진 유리 매트로 구성되며, 보통 부표 몸체의 반 개 형태를 두 개로 결합하여 만들어지는데, 결합되는 부분은 몸체에서 가장 약한 부분이 된다.

GRP 부표의 몸체 내부에는 반드시 폼 충진을 하여야 하며, 일반적으로 폴리우레탄(PU) 또는 폴리스티렌(PS) 폼으로 충진을 한다.

GRP 부표의 가장 큰 문제점은 충격에 의한 손상이 매우 큰 편인데, 강재 부표가 약간 휘어질 정도의 충격에도 GRP 부표는 금이 가고, 폼에 기포가 있다면 점점 물을 흡수하여 시간이 지나게 되면 가라앉게 된다. Fig 24는 파손된 GRP 부표의 예 이다.



Fig. 24 파손되어 침수중인 GRP 부표

4.2.3 폴리우레탄 / 엘라스토머 코팅 폼

부표의 중앙에 폴리우레탄 표면 물질을 분사하고 해양용 폴리우레탄 엘라스토머 폼으로 표면을 구성하여 유연함과 탄력성의 이점을 모두 가지게 되고, GRP 부표와는 반대로 충격 에너지를 모두 흡수하는 장점을 가지고 있어, 반영구적인 사용이 가능하다.

그러나 제조 공정상 폴리우레탄폼 와인딩 과정과 도포 과정에서 사람이 지속적으로 뿔칠을 해야 하므로, 온도 및 습도에 따른 작업 환경 조건이 중요하며, 작업자에 대한 섬세한 건강과 안전에 대한 주의가 필요하다. 또한 재활용이 어렵고, 모듈식으로의 생산이 불가하며, 경제성 면에 있어서 유지보수 비용은 줄어 들 수 있으나, 최초 구입비용은 강재 부표보다 높다.

4.2.4 모든 종류의 폼(all foam)

부표의 중앙 구조를 밀폐된 폼으로 감싸서 제작하는 형태로, 미국에서 많이 사용하고 있는 이오노머-폼이 대표적이다. 폼 부표는 충격에 우수한 저항을 가지고 있고, 상당한 파괴나 재료의 일부 손실에도 가라앉지 않고 견딜 수 있는 유연성을 지니고 있으나, 과격한 마모에는 효과적이지 못하다.

Fig 25는 미국의 표준형 이오노머-폼 부이 중 한 종류인 5x9LFR 2012년형 모델로, 직경은 1,625mm이며, 부표의 몸체뿐만 아니라 상부 구조물까지 전체가 이오노머-폼으로 구성된 제품이다.(USCG, 2014)

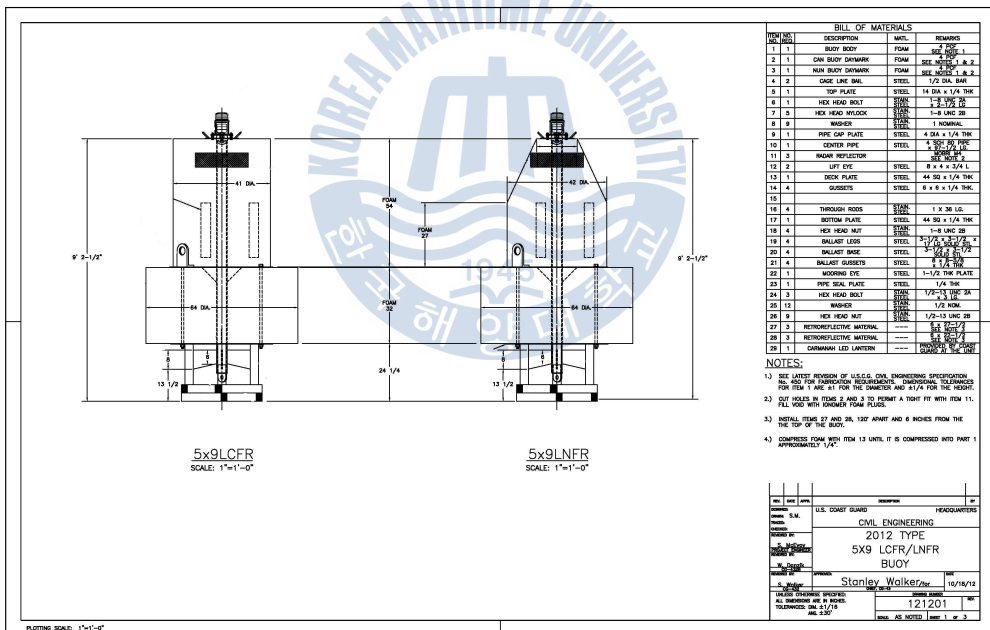


Fig. 25 미국의 표준형 이오노머-폼 부이 5x9LFR(2012년 타입)

4.3 경량 재질을 이용한 부표의 설계

경량 재질을 이용한 부표의 설계를 위해 3차원 설계 프로그램인 솔리드 워크스(SOLIDWORKS)를 활용하였으며, 우리나라의 표준형 부표 중 전 해역에 걸쳐 가장 사용량이 많은 제품인 LL-24를 기본 모델로 정하고, 부표 몸통의 소재를 기존 강재 대신 경량 재질을 이용하여, 외부는 폴리에틸렌(PE), 내부는 폴리우레탄-폼(PU-Foam)을 충전하는 방식을 적용하였다.

또한, 모듈형 구조방식을 적용하여 몸체를 4부분으로 구성함과 동시에, 상·하부 구조 또한 조립이 가능하도록 함으로써, 기존 강재 부표가 가지고 있는 문제점을 상당부분 해결하였다.

Fig 26은 경량 재질을 이용한 부표의 설계도이다.

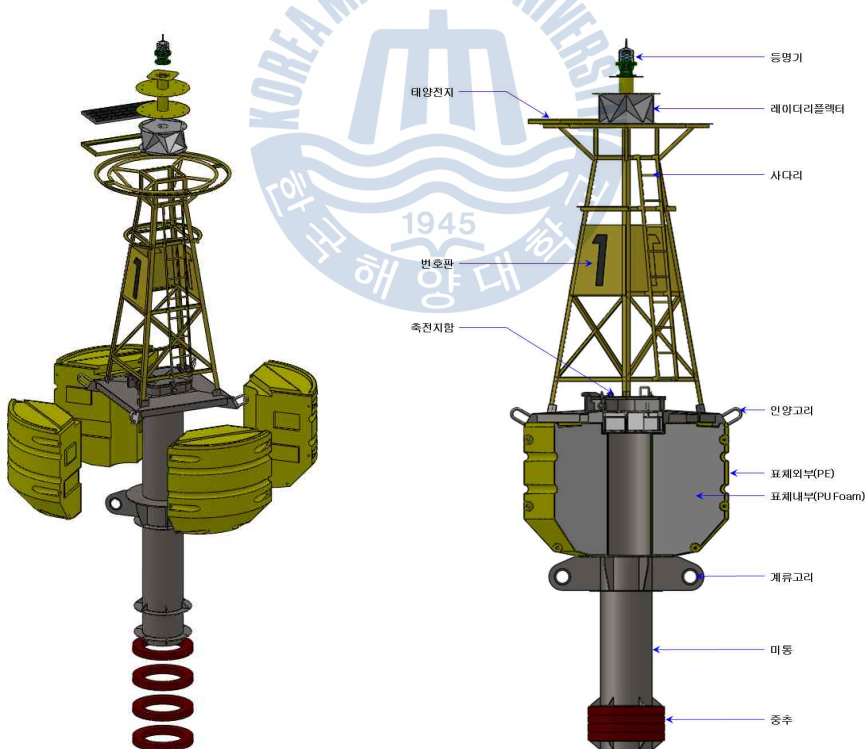


Fig. 26 경량 재질을 이용한 부표의 설계도

경량 재질을 이용한 부표의 가장 큰 특징이라고 할 수 있는 모듈형 구조 방식은 기존의 강재 부표의 한계를 뛰어 넘어, 효율적인 유지관리와 운영으로 인해 부수적인 경제적 효과가 있을 수 있게 되는데, IALA에서도 이러한 모듈형 구조 방식만이 가지고 있는 장점에 대해서 다음과 같이 설명하고 있다.(IALA, 2013)

- 모듈 형태의 플라스틱 부표에서는 그것들이 손상되거나 수리가 필요할 때 각 파트나 부분으로 교체가 가능하다.
- 큰 형태의 부표는 파트 별로 분해가 가능하므로 운송이 쉽다.
- 다수의 예비 부품을 줄일 수 있다.

Table 18은 경량 재질을 이용한 부표와 LL-24의 주요 파트별 중량을 비교한 표인데, 상부 철탑과 미통은 기존 강재 소재와 동일하게 적용하여 큰 차이는 없지만 소재 교체가 된 표체의 경우에는 기존 강재 부표와 비교했을 때 25.4% 가량의 경량화가 이루어졌으며, 표체의 경량화로 인해 필요한 중추의 수량도 적어지므로 여기서도 56.8%의 경량화가 이루어졌음을 알 수 있다.

Table 18 경량 재질을 이용한 부표와 LL-24의 파트별 중량 비교

구 분	LL-24	경량 재질 부표	경량율(%)
표 체(몸통)	1,779	451	25.4%
상부 철탑	395	419	106%
미 통	1,161	1,253	108%
중 추	1,809	1,028	56.8%
전체 중량(kg)	5,144	2,926	56.9%

이 연구에서 경량 재질을 이용한 부표의 전체 중량은 2,926kg으로 LL-24에 비해 56.9% 수준이지만, 앞으로의 연구를 통해 상부 철탁에도 경량 재질을 적용하게 된다면, 전체 중량은 40%이하로 더욱 경량화 시킬 수 있을 것으로 기대된다. 실제로 몸체 전체를 경량 재질로 사용하고 있는 해외 제조사들의 대부분이 2톤 이하로 경량화를 실현하고 있다.

경량 재질을 이용한 부표는 경량화를 실현시키고, 모듈형 구조 방식을 적용함으로써 기존 강재 부표의 문제점과 한계점을 극복함과 동시에 유지보수 등 여러 가지 면에서 이점을 극대화 시킬 수 있다. 또한, 경량 재질의 특성상 부식되지 않고, 도장이 필요 없으므로, 친환경적이라고 할 수 있으며, 운송·설치 및 유지보수 측면에서도 기존 강재 부표에 비해 상당히 경제적이다.

이처럼 경량 재질을 이용한 부표는 기존의 강재 부표에 비해 많은 장점을 가지고 있지만 국내에 상용화되기 위해서는 반드시 해결되어야 할 문제가 있는데, 바로 호환성 문제이다.

기존의 강재 부표는 해양수산부에서 제작 시방서, 상세 도면 등의 명확한 기준을 마련하여, 모든 업체에서 통일된 규격으로 제작하기 때문에 누가 만들어도 차후 수리나 유지보수 시 전혀 문제될 소지가 없었다. 하지만, 경량 재질을 이용한 부표에 대해서는 아직까지 명확한 제작 규정이 없으므로, 각 제조사들마다 자신들만의 제조 방법과 소재를 사용하여 생산할 것이고, 결국에는 생산되는 제품마다 제작사에서만 수리나 보수가 가능하게 되는 문제가 생길 수가 있다.

이러한 문제는 어떠한 새로운 소재를 적용하게 되어도 충분히 발생할 수 있는 문제이기 때문에, 관련 기관에서는 신중한 검토가 필요할 것이다.

또한, IALA에서는 경량 재질 부표의 수명에 대하여 강재 부표보다 짧다고 평가하고 있으나, 이러한 평가에 대해서는 몇 가지 측면에서 살펴볼 필요가 있다.

우선, IALA에서 평가하는 경량 재질 부표의 수명은 대부분의 기후 조건에서 15년 이상 될 수 있어야 한다고 기술하고 있으나, 국내의 강재 부표는 내용년한을 15년으로 규정하고 있으므로, 경량 재질 부표의 수명이 짧다고 단정 지을 수는 없다.

두 번째는 소재의 특성에 따른 내구성에 대한 부분인데, 강재는 해수에 의한 지속적인 부식으로 인해 철판이 점점 얇아지므로, 시간이 지날수록 내구성이 점점 떨어지게 되고, 경량 재질을 이용한 부표는 해수에 의한 부식이 없으므로, 시간이 지나도 처음과 같은 내구성을 유지할 수 있다는 점이다. 강재 등부표의 이러한 내구성에 대한 문제를 해결하기 위해 국내에서는 2년마다 교체 또는 인양점검을 실시하여, 보수 및 도장작업을 시행하도록 규정하고 있다.(해양수산부, 2013)

세 번째는 선박과의 충돌사고에 관한 부분인데, 경량 재질을 이용한 부표는 선박과의 충돌시 깨져서 보수가 불가하고, 강재 부표의 경우에는 보수하여 재사용이 가능하기 때문에 경량 재질을 이용한 부표의 수명이 짧다고 평가할 수 있다. 그러나 이것은 선박에 대한 손상 여부를 전혀 감안하지 않고 있는데, 경량 재질을 이용한 부표는 부표가 파손되는 대신 선체의 손상은 적고, 반대로 강재 소재는 부표 손상이 적은 대신 선체에 큰 손상을 입힐 수 있다. 하지만, 경량 재질을 이용한 부표는 이러한 문제를 보완하고자 모듈형 구조를 적용하여, 각 파트 또는 부분 교체가 가능하도록 함으로써, 교체 비용을 최소화 하고 있기 때문에 강재 부표의 보수비용보다 오히려 적게 들어갈 수 있다.

이와 같은 내용들을 고려한다면, 경량 재질을 이용한 부표의 수명이 강재 부표보다 짧다는 것에 대한 평가는 다시 한 번 생각해 볼 필요가 있다.

4.4 경량 재질을 이용한 부표의 안정성 검토

경량 재질을 이용한 부표의 안정성 계산은 항로표지 업무편람(해양수산

부, 2006)을 참고하였으며, Table 19는 경량 재질을 이용한 부표의 안정성과 항로표지 업무편람에서 계산된 LL-26(M)의 안정성 검토 결과를 비교한 값인데, 간단히 요약하면 아래와 같다.

- ① 경량 재질을 이용한 부표는 계류 장치를 제외한 부표 표체만으로도 중심이 부심의 아래에 위치하고, GM(복원모멘트) 또한 LL-26(M)에 비해 더 큰 양의 값을 가지므로, 부표의 복원력이 LL-26(M) 보다 좋다. 즉, LL-26(M) 보다 경량 재질을 이용한 부표의 안정성이 더 좋다고 평가할 수 있다.
- ② 질량관성모멘트, 부표중량, 관성반경 등에 의해 계산된 부표의 고유진동주기는 경량 재질을 이용한 부표가 LL-26(M)보다 더 짧다.
- ③ 경량 재질을 이용한 부표의 흘수심은, 경량 재질의 표체 적용으로 LL-26(M)보다 적은 중량의 중추가 사용되고, 이에 따라 흘수심 또한 낮으므로 LL-26(M)보다 더 낮고, 더 깊은 수심에서도 사용이 가능하다.

Table 19 경량 재질을 이용한 부표와 LL-26(M)의 안정성 비교

검토사항	부호	값	
		경량 재질 부표	LL-26(M)
중심위치	KG	0.264 m	0.281 m
부심위치	KB	0.382 m	0.28 m
경심	BM	0.511 m	0.40 m
GM	GM	0.629 m	0.399 m
고유진동주기	t_0	5.03 sec	7.84 sec
흘수심	d	0.809 m	1.085 m
풍력에 의한 경사각	θ_1	12.84°	19.69°
조류력에 의한 경사각	θ_2	10.75°	19.46°
파도에 의한 경사각	θ_3	20.86°	19.18°

※극한 자연환경 조건: 수심 20m, 파주기 10sec, 파고 5m, 풍속 45m/s, 조류 5kts

Fig. 27은 경량 재질을 이용한 부표의 안정성 검토에 의해 계산된 흘수와 경심, 부심, 중심의 값을 나타낸 것이다.

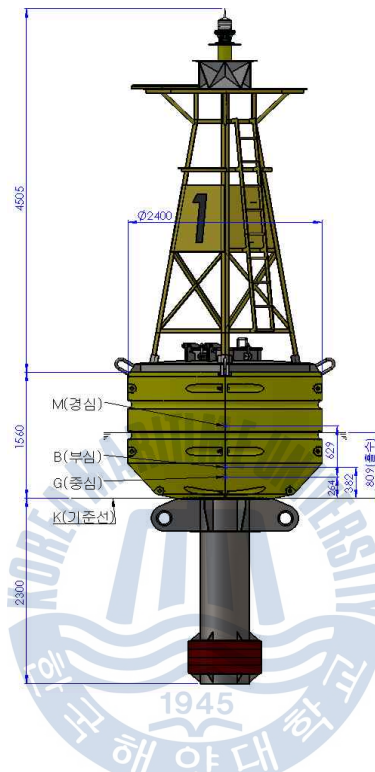


Fig. 27 경량 재질을 이용한 부표의 흘수심

4.4.1 중심(center of gravity)과 배수체적(displacement)의 결정

1) 중심(center of gravity)

경량 재질을 이용한 부표의 중심위치는 Table 20과 같이 모든 부재에 대하여 중량 분포를 구하여 산정하며, 식(1)과 같다.

$$KG = M_c / W = 863.3 / 3265 = 0.264m \quad (1)$$

Table 20 경량 재질을 이용한 부표의 부재목록표

명 칭	수량	중량 (kgf)	기준선에서 각부중심까지 거리(m)	중량의1차모 멘트(kgf·m)	각부중심까지 거리제곱(m ²)	질량의관 성모멘트 (kgf·m ²)
등명기	1	4.7	5.760	27.097	33.172	156.065
등명기 지지대	1	62.5	5.303	331.671	28.124	1758.929
레이더 리플렉터	1	11.4	5.247	59.936	27.526	314.458
태양전지 지지대	1	16.2	5.089	82.322	25.894	418.905
태양전지	1	7.7	5.102	39.259	26.031	200.302
상부철탑(STEEL)	1	329.0	3.711	1220.764	13.771	4530.108
철골프레임 (축전지함,미통포함)	1	1252.9	0.429	537.520	0.184	230.612
축전지	4	102.4	1.574	161.189	2.476	253.647
표체 (PE+PU-Foam)	1	450.5	0.838	377.681	0.703	316.617
중추	4	1027.7	-1.921	-1974.124	3.690	3792.292
합계		3265.0		863.314		11971.935

2) 배수체적(displacement)

경량 재질을 이용한 부표의 배수체적(V)은 부표가 밀어낸 해수의 체적으로 식(2)와 같다.

$$V = W/\gamma_w = 3265/1025 = 3.185m^3 \quad (2)$$

3) 흘수(draft)

계산된 배수체적으로부터 경량 재질을 이용한 부표가 물에 잠기는 위치인 흘수를 결정할 수 있다. 흘수(d)는 표체 하부의 경사부 높이(d_1)와 수직부 표체의 수면 아래쪽 깊이(d_2)의 합으로 구할 수 있는데, 수직부 표체의 수면 아래쪽 깊이(d_2)는 식(3)과 같으며, 경량 재질을 이용한 부표의 흘

수(d)는 식(4)와 같이 계산된다.

$$d_2 = \frac{V'}{A'}(m) = (3.185 - 0.200 - 1.325)/(\pi \times 1.2^2) = 0.367m \quad (3)$$

$$d = d_1 + d_2 = 0.43 + 0.367 = 0.797m \quad (4)$$

4.4.2 부심(center of buoyancy)과 경심(metacenter) 높이 결정

1) 부심(center of buoyancy)의 높이 결정

물속에 잠긴 체적의 중심을 부심이라고 하는데, 경량 재질을 이용한 부표의 부심을 구하기 위해 계산한 배수체적 및 각 배수체적의 1차 모멘트 값은 Table 21과 같으며, 부심의 값은 식(5)와 같다.

Table 21 경량 재질을 이용한 부표의 배수체적과 1차 모멘트

명 칭	배수체적(m^3)	기준선에서 각 배수체적의 중심까지 거리(m)	각 배수체적의 1차 모멘트 (m^4)
몸통	2.985	0.467	1.395
미통, 중추	0.200	-0.896	-0.179
소 계	3.185		1.216

$$KB = M_B / V = 1.216 / 3.185 = 0.382m \quad (5)$$

2) 경심(metacenter)의 높이 결정

부심에서 경심까지의 높이를 BM 이라고 하는데, 이 값은 부체의 횡동요 주기를 결정하고, 복원력 특성을 좌우하는 중요한 인자이다. 경량 재질 부표의 BM 은 식(6)과 같으며, 표체 흘수면의 단면 2차 모멘트(I_X)는 원형단면이므로 식(7)과 같이 계산한다.

$$BM = I_X / V = 1.629 / 3.185 = 0.511m \quad (6)$$

$$I_X = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi \times 1.2^4}{4} = 1.629m^4 \quad (7)$$

중심에서 경심까지의 높이 GM 의 계산은 식(8)과 같으며, GM 이 클수록 부표의 안정성은 큰데, 항로표지 업무편람에 계산된 LL-26(M)의 GM 은 $0.399m$ 이므로 경량 재질 부표의 안정성이 더 크다.

$$GM = BM + KB - KG = 0.511 + 0.382 - 0.264 = 0.629m \quad (8)$$

4.4.3 경량 재질을 이용한 부표의 진동주기

부표의 진동주기(t_0)란 표체가 무게중심을 중심축으로 1주기 동요하는데 걸리는 시간으로 식(9)와 같이 계산한다. 이 때 부표의 무게중심에 대한 질량관성모멘트(I_v)는 수중에서의 운동이므로 부가질량관성모멘트를 고려해야 하는데, 통상적으로 질량관성모멘트의 10%로 적용하여 식(10)과 같이 계산한다.

$$t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_v}{W \cdot GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{\kappa^2}{GM \cdot g}} \quad (9)$$

$$I_v = (I_0 - W/g \cdot \overline{KG^2}) \times 1.1 = (11972 - 3265 \times 0.264^2) \times 1.1 = 12918kg \cdot m^2 \quad (10)$$

따라서 경량 재질을 이용한 부표의 진동주기(t_0)는 식(11)과 같다.

$$\kappa = \sqrt{I_v \cdot g / W} = \sqrt{\frac{12918}{3265}} = 1.99m, \quad t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{1.99^2}{0.629 \times 9.81}} = 5.03sec \quad (11)$$

4.4.4 외력에 의한 경사각 결정

1) 바람에 의한 경사각

바람에 의한 부표의 최대 경사각은 식(12)와 같이 풍력 모멘트가 부표

의 복원모멘트(M_R)가 같을 경우 발생하며, 경량 재질을 이용한 부표의 풍력과 풍력 모멘트는 기준풍속 45m/s 로 가정하였을 때 Table 22와 같이 계산된다.

$$M_R = W \cdot GM \cdot \sin\theta = 456.103 \text{ kgf} \cdot \text{m} \quad (12)$$

Table 22 경량 재질을 이용한 부표의 풍력과 풍력모멘트

부 재 명	풍력면적계수	투영면적(m^2)	중심으로 부터의 거리(m)	높이에 따른 속도구배 (height factor)		풍속 (m/s)	풍력 (kgf)	풍력모멘트 ($\text{kgf}\cdot\text{m}$)
등명기	1.0	0.059	5.521	0.903	4.914	40.657	6.054	33.425
등명기지지대 및 레이더리플렉터	0.8	0.263	5.018	0.890	4.410	40.033	21.113	105.938
태양전지 및 태양전지지지대	0.7	0.060	4.467	0.873	3.859	39.277	4.046	18.073
상부 철탑	0.5	1.433	3.272	0.828	2.664	37.252	62.155	203.352
철골프레임 (축전지함 포함)	0.6	0.531	1.064	0.643	0.456	28.950	16.677	17.739
표체 (PE+PU-Foam)	1.0	1.792	0.920	0.610	0.313	27.432	84.282	77.576
소 계		4.138					194.326	456.103

따라서 경량 재질을 이용한 부표의 풍력에 의한 최대 경사각은 식(13)과 같다.

$$3265 \times 0.629 \times \sin\theta = 456.103, \theta_{\max} = \text{Asin}\left(\frac{456.103}{3265 \times 0.629}\right) \times \frac{180}{\pi} = 12.84^\circ \quad (13)$$

2) 조류에 의한 경사각

조류에 의한 부표의 최대 경사각은 식(14)와 같이 조류력 모멘트가 부표의 복원모멘트(M_R)가 같을 경우 발생하며, 경량 재질을 이용한 부표의

조류력과 조류력 모멘트는 기준유속 5kts로 가정하였을 때 Table 23과 같이 계산된다.

$$M_R = W \cdot GM \cdot \sin\theta = 382.982 \text{ kgf} \cdot m \quad (14)$$

Table 23 경량 재질을 이용한 부표의 조류력과 조류력모멘트

부 재 명	투영면적 (m ²)	중심으로 부터의거 리(m)	높이에따 른속도구 배(height factor)	조류와부 표의상대 속도 (m/s)	조류력 (kgf)	조류력 모멘트 (kgf·m)
몸통	1.476	-0.166	1.0	1.8	250.984	-41.772
미통,방향타,중추	1.946	1.283	1.0	1.8	330.957	424.755
소 계	3.421				581.941	382.982

따라서 경량 재질을 이용한 부표의 조류력에 의한 최대 경사각은 식 (15)와 같다.

$$3265 \times 0.629 \times \sin\theta = 382.982, \theta_{\max} = \text{Asin}\left(\frac{382.982}{3265 \times 0.629}\right) \times \frac{180}{\pi} = 10.75^\circ \quad (15)$$

3) 파도에 의한 경사각

파도에 의한 부표의 경사각은 앞서 바람 및 조류에 의한 경사각 계산과는 다른 방법을 사용해야 한다. 경량 재질을 이용한 부표와 물 입자의 상대 운동이 작아서 부표는 파도의 움직임에 따라 상하운동을 할 뿐이므로, 파력에 의해 직접적으로 경사지는 것보다는 파도의 경사면을 따라 기울어지는 효과가 더욱 크다. 따라서 파도에 의한 부표의 경사각은 파도의 기울기에 의해 좌우된다고 볼 수 있으며, 계산방법은 식(16)과 같다.

$$\theta_{\max} = \frac{a}{1 - t_0^2/T^2} \quad (16)$$

여기서 계수 a 를 결정하기 위하여 유한수심에서의 파장을 심해파의 파

장과 수심과의 관계인 Table 24로부터 얻을 수 있으며, 파주기(T) 10초, 수심(d) 20m, 파고(H) 5m를 가정하여 식(17)과 같이 계산한다.

$$a = \frac{\pi H}{\lambda} = 3.14 \times 5 / 121.29 = 0.129 \quad (17)$$

Table 24 심해파의 수심과 파장과의 관계(U.S Army coastal Engineering Research Center)

d/λ_0	d/λ
0.1200	0.1571
0.1210	0.1590
0.1220	0.1598
0.1230	0.1607
0.1240	0.1615
0.1250	0.1624
0.1260	0.1632
0.1270	0.1640
0.1280	0.1649
0.1290	0.1657
0.1300	0.1665
⋮	⋮

따라서 경량 재질을 이용한 부표의 파도에 의한 최대 경사각은 식(18)과 같다.

$$\theta = \frac{0.129 \times 10^2}{10^2 - 5.03^2} = 0.3641 \text{ rad} = 20.86^\circ \quad (18)$$

4.5 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 경제성 검토

강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 경제성 검토는 'IALA Guideline No. 1047, Cost Comparison Methodology of Buoy Technologies'

를 참고로 하였으나, 비용분석은 최대한 우리나라의 현실에 맞게 적용하였다.

경제성 검토에 필요한 기본 전제 조건은 아래와 같다.

- ① 강제 부표는 우리나라 표준형 부표인 LL-24를 대상으로 하였음.
- ② 총 유지보수 기간은 우리나라 강제 부표의 내용년한인 15년을 기준으로 산출하였음.
- ③ 항로표지용품(등명기 외) 및 계류장치의 구입비용과 유지보수 비용은 적용하지 않음.
- ④ 예비품 구입 및 운영비용은 적용하지 않음.
- ⑤ 유지보수 기간 동안(15년) 파손 및 유실 등으로 인한 복구비용은 적용하지 않음.

Table 25와 Table 26은 본 연구에서 실시한 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 연간 비용분석 결과와 비용요소별 분석 결과이다. 연구 결과 15년간의 운영기간 동안 발생하는 비용은 경량 재질을 이용한 부표가 강제 부표에 비해 31%의 절감율을 보일 것으로 나타났다. 그러나 비용 산출에 포함하지 않은 기본 전제 조건을 감안한다면 실제 절감율은 50% 이상 될 것으로 판단된다. 참고로 2010년 '타이드랜드 시그널'사에서 자사 제품의 강제 부표와 경량 재질 중 하나인 플라스틱 부표의 비용분석을 실시한 결과 플라스틱 부표의 절감율이 58%인 것으로 나타났다.(국토해양부, 2010)

Table 25 강재 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 비용분석(년간)

YEAR	강재 부표(천원)	경량 재질 부표(천원)	절감율
0	39,534	31,980	19%
1	9,600	9,600	0%
2	25,192	13,180	48%
3	9,600	9,600	0%
4	25,192	13,180	48%
5	9,600	9,600	0%
6	25,192	13,180	48%
7	9,600	9,600	0%
8	25,192	13,180	48%
9	9,600	9,600	0%
10	25,192	13,180	48%
11	9,600	9,600	0%
12	25,192	13,180	48%
13	9,600	9,600	0%
14	25,192	13,180	48%
15	9,600	9,600	0%
Total	292,678	210,040	31%
NPV(5%)	214,466	148,911	

Table 26 강재 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 비용분석(비용요소별)

비용요소	강재 부표(천원)	경량 재질 부표(천원)	절감율
제작비용	34,738	29,000	17%
설치비용	4,796	2,980	38%
유지보수비용 (년간)	16,876	6,590	33%
15년간 총비용	292,678	210,040	31%
NPV(5%)	214,466	148,911	

4.5.1 제작비용

1) 강재 부표

강재 부표의 최초 구입비용 산정은 해양수산부의 '표준형 부표 제조원가계산서'에 기반을 두고 산출하였는데, 2001년 당시 표준형 부표 LL-24의 제조원가는 ₩23,552(천원)이었다.(해양수산부, 2001)

Table 27은 2001년~2013년까지의 물가상승률을 반영한 자료이며, 현재까지의 물가상승률을 적용하면 LL-24의 2014년 기준 제조원가는 약 ₩34,738(천원)으로 산출할 수 있다.(통계청 소비자물가조사, 각 년도)

Table 27 물가상승률에 따른 표준형 부표 LL-24의 제조원가

년 도	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
물가상승률(%)	4.1	2.8	3.5	3.6	2.8	2.2	2.5
LL-24(천원)	23,552	24,517	25,204	26,086	27,025	27,782	28,393
년 도	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
물가상승률(%)	4.7	2.8	3.0	4.0	2.2	1.3	
LL-24(천원)	29,103	30,470	31,324	32,263	33,554	34,292	34,738

2) 경량 재질을 이용한 부표

경량 재질을 이용한 부표의 제작비용은 해외의 2개사로부터 LL-24와 동일한 직경 2.4m의 견적금액과 국내에서 생산이 가능한 업체의 예상 제작비용을 비교하여 가장 저렴한 가격을 적용하였다. Table 28은 3개사의 경량 재질을 이용한 부표의 제작비용을 비교한 것이다.

Table 28 직경이 2.4m인 경량 재질을 이용한 부표의 제작비용

구 분	T사	M사	N사(국내)
직경이 2.4m인 경량 재질을 이용한 부표의 제작비용(천원)	34,680	30,000	29,000

4.5.2 설치비용

설치비용은 작업시간에 따른 선박비, 직접인건비, 소모재료비 등 여러 가지 요소가 있겠지만 다른 부분들은 모두 동일하다는 가정 하에, 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 중량 차이로 인한 해상장비 규격에 대한 비용만을 적용하였다. 물론 중량 차이로 인한 작업 시간의 차이도 분명 발생하겠지만, 해상에서 1~2시간 빨리 작업을 마친다고 해서 그 시간 만큼 장비비나 인건비가 줄어들지는 않기 때문에 이 부분의 비용 차이는 없는 것으로 간주한다.

Table 29는 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 설치비용을 비교한 것인데, 해상장비는 예선+기중기선 조합으로 구성하였으며, 강제 부표는 60톤급, 경량 재질을 이용한 부표는 30톤급의 해상장비로 적용하였다. 이에 따른 비용은 ‘물가정보 해상기계경비산정(한국물가정보, 2014)’ 금액을 적용하였다.

Table 29 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 설치비용

구 분	강제 부표(원)	경량 재질 부표(원)
작업시간	1일(8시간)	1일(8시간)
해상장비 사용료	4,096,000	2,280,000
인건비(4인기준)	600,000	600,000
소모재료비	100,000	100,000
합 계	4,796,000	2,980,000

4.5.3 유지보수비용

유지보수비용 산출을 위한 등부표의 정기점검 주기와 인양점검 주기, 총 기간 산출은 해양수산부 관련 규정을 근거로 결정하였다.(해양수산부, 2013)

관련 규정은 아래와 같다.

- 등부표 내용년한 : 15년
- 등부표 정기점검 : 월1회 이상
- 등부표 교체주기(인양점검) : 2년

Table 30은 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 유지보수 비용을 비교한 것인데, 정기점검 비용은 선박비와 인건비만을 산출하여 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표에 동일하게 적용하였고, 인양점검 비용에서 인양비와 재설치 비용은 4.5.2의 설치비용을 적용하였다.

Table 30 강제 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 유지보수비용

구 분		강제 부표(원)	경량 재질 부표(원)
정기점검(월)		800,000	800,000
정기점검비용(년 기준)		9,600,000	9,600,000
인양점검(2년)	인양비용	4,796,000	2,980,000
	보수도장비용	6,000,000	600,000
	재설치비용	4,796,000	-
인양점검비용(착수 해 발생)		15,592,000	3,580,000

인양점검 비용에서 가장 큰 차이는 강제 부표의 경우, 도장 작업이 필수적인 작업 범위에 해당되며, 이 작업은 반드시 육상으로 인양을 해야만

할 수 있으므로, 도장이 완료되면 다시 재설치 하기 위한 해상장비 비용이 한 번 더 발생하게 된다. 하지만, 경량 재질을 이용한 부표는 소재의 특성상 재도장을 할 필요 없이 현장에서의 어패류 제거 비용만 적용하므로, 이에 따른 재설치비용이 발생하지 않는다.

이러한 작업 범위의 특성은 강재 부표와 경량 재질을 이용한 부표의 경제성에 있어서 가장 크게 차이가 발생하는 부분이다. 비용적인 측면에 있어서 따로 언급하지는 않았지만 강재 부표의 인양점검시에는 최소 일주일 가량의 시간이 필요하므로, 그 기간 동안 대체할 부표의 운영비용과 육상에서의 추가적인 운송비용이 발생하게 되는 것이다.



제 5 장 결론

이 연구에서는 우리나라 표준형 부표의 기본 소재인 강재 부표가 가지고 있는 문제점과 한계점을 분석하고, 이를 개선하고자 부표의 표체 소재를 강재 대신 경량 재질을 이용하여 설계하였다. 또한, 안정성과 경제성 검토를 실시하여 기존 강재 부표와 비교함으로써, 안정성과 경제성 면에서도 경량 재질을 이용한 부표가 뛰어나다는 것을 증명하였다.

이와 같은 연구 내용을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 우리나라에서 운영되고 있는 표준형 부표의 제작관련 기준과 현황에 대한 조사와 우리나라 표준형 부표의 기본 소재인 강재 부표가 가지고 있는 문제점과 한계점에 대하여 환경적 측면, 경제적 측면, 관리적 측면, 수출적 측면을 통해 다각적으로 분석하였다.

둘째, 미국과 프랑스 등 해외 선진국들의 부표 운영 동향과 국제항로표지협회(IALA)에 가입된 국내·외 주요 제조사들의 부표 제조 방법 및 기본 소재 등의 조사를 통하여 국제적 추세와 동향을 파악하였다.

셋째, 기존 강재 부표의 표체를 개선하기 위해 표체 소재를 강재 대신 경량 재질을 이용한 부표를 설계하였다. 또한, 경량 재질을 이용한 부표의 안정성과 경제성 검토를 통하여, 기존 강재 부표와의 안정성과 경제성에 대해서도 비교·분석하였다.

이 연구를 통해 설계된 경량 재질을 이용한 부표는 기존 강재 부표의 문제점과 한계점을 뛰어넘어 효율적인 유지관리와 운영이 가능하고, 친환경적이며, 경량화를 실현시켰으며 특히, 기존 강재 부표에서는 적용할 수 없었던 모듈형 구조 방식을 적용함으로써, 유지관리 뿐만 아니라 경제적

인 측면에서도 많은 이점을 가질 수 있게 한다.

또한, 안정성 검토를 통하여 경량 재질을 이용한 부표의 안정성을 증명하였고, 경제성 검토를 통해서도 부표의 구입비용과 설치비용, 유지보수비용 및 장기간 운영비용 등 모든 면에서 기존 강재 부표보다 경제성이 뛰어나다는 결과를 얻을 수 있었다.

그러나 이 연구에서는 경량 재질을 이용한 부표의 안정성과 경제성에 대하여 이론적인 연구 결과를 통해서도 안정성을 증명하였고, 경제성 또한, 기존 강재 부표보다 뛰어나다는 것이 입증되었으나, 시제품 제작을 통한 실제 해상에서의 운영은 진행되지 않았으므로, 실험을 통한 결과를 얻지 못한 것이 이 연구의 한계이다.

따라서 향후의 연구에서는 경량 재질을 이용한 부표의 시제품을 제작하여 운영함으로써, 이 연구에서 이론적으로만 입증되었던 부표의 안정성과 경제성을 실제 실험을 통하여 확인할 것이다. 또한, 상부 철탑 소재도 표체와 같은 경량 재질을 이용한 소재를 개발함으로써, 부표를 더욱더 경량화 시킬 수 있고, 유지관리의 효율성을 증대 시킬 수 있는 방안에 관한 연구를 수행할 것이다.

감사의 글

많은 설렘과 꿈을 안고 해양교통학과 석사과정을 시작한 것이 엇그제 같은데 벌써 2년이 지나 어느덧 졸업을 앞두고 있습니다. 2년이라는 시간은 그리 길지는 않지만, 제 인생에 있어서 가장 큰 발전과 꿈을 이룰 수 있게 해주었고, 더 큰 꿈을 품을 수 있게 한 소중한 시간 이였습니다.

부족한 제가 이 과정을 잘 마칠 수 있게 도와주신 주위의 모든 분들에게 지면으로나마 감사의 뜻을 전하고자 합니다.

우선, 이 논문을 쓸 수 있도록 지도해주시고, 격려해 주신 정태권 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한, 바쁘신 일정에도 불구하고, 논문 심사를 맡아주신 국승기 교수님과 박진수 교수님께 감사드립니다.

그동안 강의해주신 양규식 교수님, 이은방 교수님께도 감사드립니다.

논문 작성과 발표에 많은 도움을 주신 김인관 이사님, 김춘호 소장님, 나가영 주임에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 이 과정의 시작부터 끝까지, 기회와 시간을 허락해 주신 뉴마린엔지니어링(주) 대표이사 고성광, 임민석 사장님께도 감사드립니다.

끝으로 언제나 저를 믿어주고, 뒤에서 응원해 주며, 8개월 밖에 되지 않은 어린 딸 혼자 돌보느라 힘들었을 사랑하는 아내와 딸 효명이, 그리고 언제나 저를 응원해 주는 가족들과, 지금의 제가 있도록 길러주시고, 지켜봐 주신 사랑하는 아버지와 어머님께 제 작은 결실을 드립니다.

참고문헌

- [1] 고성광, 2010. 신소재 등부표. 한국항해항만학회 학술대회논문집, 2010, pp.439-441.
- [2] 국토해양부, 2010. 경량저비용 부표개발 기본조사 설계용역.
- [3] 국토해양부, 2012. 개선부표 및 기타 특수 부표류 연구개발 기본 및 실시설계.
- [4] 김종욱, 한주섭, 조경주, 강성복, 2011. 항로표지용 플라스틱 부표의 특성 분석. 한국항해항만학회 학술대회논문집, 2011, pp.263-265.
- [5] 문호선, 조경주, 김종욱, 강성복, 2010. 플라스틱 부표 개발에 관한 연구. 한국항해항만학회 학술대회논문집, 2010, pp.442-444.
- [6] 박혜리, 2014. 현장적응형 소형선박 개선부표 개발에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- [7] 신용주, 정태권, 2010. 부표 및 등부표의 표체 개선에 관한 연구(I). 한국항해항만학회 학술대회논문집, 2010, pp.19-22.
- [8] 신용주, 정태권, 2011. 부표 및 등부표의 표체 개선에 관한 연구(2). 한국항해항만학회 학술대회논문집, 2011, pp.266-268.
- [9] 신용주, 정태권, 2012. 부표 및 등부표의 표체 개선에 관한 연구(II). 한국항해항만학회 학술대회논문집, 2012, pp.407-410.
- [10] (사)한국물가정보, 2014. 종합물가정보.
- [11] 전국지방화물운송, 2014. <http://www.1600-3901.com/>

- [12] 통계청, 2014. <http://kostat.go.kr/>
- [13] 해양수산부, 2013. 표준형 부표제작 및 품질관리 기준에 관한 규정.
- [14] 해양수산부, 2001. 표준형 부표 원가계산보고서.
- [15] 해양수산부, 2013. 항로표지시설 관리지침.
- [16] 해양수산부, 2006. 항로표지 업무편람.
- [17] 해양수산부, 2013. 항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준.
- [18] 해양수산부, 2014. <http://www.mof.go.kr/>
- [19] Gisman homepage, <http://www.gisman-ocea.com/>
- [20] IALA. 2005. Guideline No. 1047 on Cost Comparison Methodology of Buoy Technologies.
- [21] IALA. 2013. Guideline No. 1036 on Environmental Management in Aids to Navigation.
- [22] IALA. 2013. Guideline No. 1006 on Plastic Buoys.
- [23] IALA, 2014. <http://www.iala-aism.org/>
- [24] MOBILIS homepage, <http://www.mobilis-sa.com/>
- [25] Sealite homepage, <http://www.sealite.com.au/>
- [26] TIDELAND SIGNAL homepage, <http://www.tidelandsignal.com/>
- [27] USCG, 2014. <http://www.uscg.mil/>
- [28] USCG, 2009. Specification No. 450 Revision F on Specification for fabrication of ionomer foam buoys.
- [29] ZENI LITE BUOY homepage, <http://www.zenilite.co.jp/>